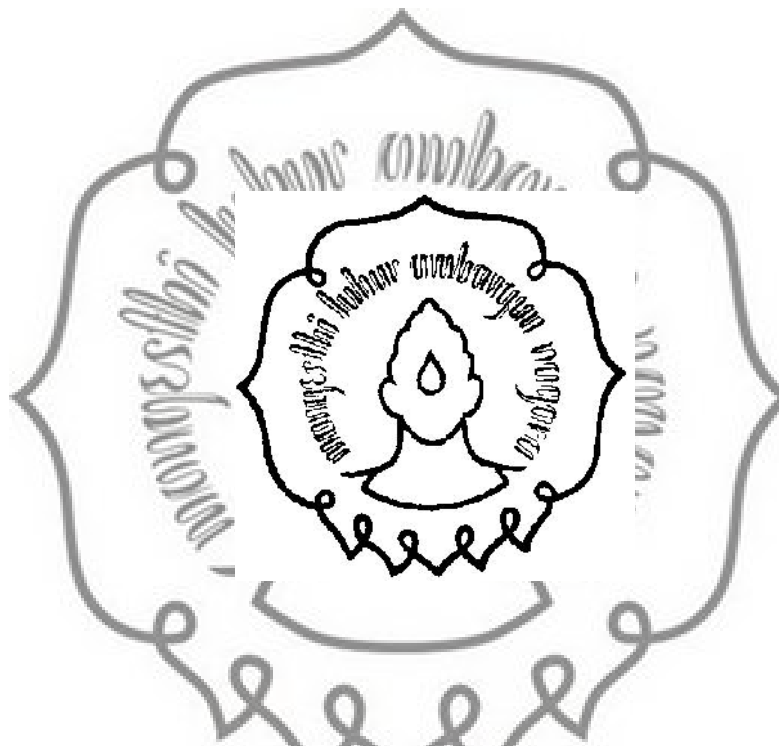


**PENGARUH KOMPOSIT CORE BERBASIS LIMBAH
KERTAS, DENGAN PENCAMPUR SEKAM PADI, DAN
SERABUT KELAPA TERHADAP KEKUATAN BENDING
PANEL**

Skripsi

Sebagai Persyaratan untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**ASMAA ASKAROTILLAH SYAFIISAB
I 0306021**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2010**

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan beberapa hal pokok mengenai penelitian ini, yaitu latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika pembahasan.

1.1 Latar Belakang

Penebangan hutan saat ini semakin lama semakin meningkat tanpa diperhatikan dampaknya terhadap lingkungan. Menurut ketua Asosiasi Panel Kayu Indonesia (Akpindo) pasokan bahan baku kayu dari hutan alam pada akhir 2009 semakin menipis (www.businessreview.co.id, 2009). Oleh karena itu dibutuhkan material pengganti kayu untuk memenuhi kebutuhan kayu. Menurut Diharjo (2005), *natural composite* merupakan salah satu material yang memiliki peluang untuk menggeser penggunaan bahan logam dan komposit sintetis. Ketergantungan dengan bahan sintetis impor merupakan kebijakan terbalik dengan kondisi alam Indonesia dengan produksi serat alam cukup berlimpah.

Kertas yang dibuat dari proses pengolahan kayu menjadi *pulp* dapat menjadi material alternatif pengganti kayu. Pada penelitian ini akan dikembangkan komposit dengan memanfaatkan limbah rumah tangga dan sisa pengolahan hasil pertanian yang jumlahnya melimpah di sekitar lingkungan kita yaitu kertas bekas dengan kombinasi campuran sekam padi dan serabut kelapa sebagai penguat. Pemanfaatan limbah kertas, sekam padi, dan serabut kelapa dapat menaikkan nilai ekonomis masing-masing material. Selain itu, material tersebut juga memiliki komposisi yang dapat menyerap bising yaitu selulosa sehingga apabila diaplikasikan mampu meningkatkan kenyamanan dan menurunkan gangguan kesehatan pada manusia. Komposit merupakan rangkaian dua atau lebih bahan yang digabung menjadi satu bahan secara mikroskopis dimana bahan pembentuknya masih terlihat seperti aslinya dan memiliki hubungan kerja diantaranya sehingga mampu menampilkan sifat-sifat yang diinginkan (Mikell, 1996). Agar komposit mampu menahan beban yang lebih berat, maka perlu adanya komposit *sandwich* (Diharjo dkk., 2005). Komposit

sandwich membutuhkan *core* yang ringan. Meskipun *core* mengalami pembebanan yang relatif lebih rendah tapi perlu juga diketahui seberapa kekuatan dari *core* untuk menahan setiap pembebanan. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dikembangkan komposit *core*.

Lem kanji memiliki karakteristik viskositas rekat tinggi, kejernihan tinggi dan stabilitas pembekuan tinggi (Kristanto, 2007). Polivinil asetat (PVAc) atau dapat disebut juga lem putih yang digunakan sebagai lem kayu dan kertas merupakan salah satu produk jenis polimer emulsi. Polimer emulsi digunakan sebagai perekat dalam industri kayu lapis yang memiliki sifat lengket terhadap aksi (Siregar, 2004). Oleh karena itu lem kanji dan lem PVAc cocok digunakan sebagai pengikat dalam komposit berbasis limbah kertas.

Penggunaan limbah kertas dapat mengurangi konsumsi kayu sehingga mendukung isu lingkungan. Pada tahun 2009, tingkat konsumsi kertas di Indonesia sebesar 7,90 juta ton (Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia, 2010). Miasa dan Sriwijaya (2004) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa kertas dan plastik mempunyai kemampuan meredam kebisingan lebih baik daripada tanaman. Kualitas hasil kertas daur ulang dari bahan baku kertas HVS mempunyai tampilan yang lebih putih dan bersih, lebih kuat, dan halus. Sedangkan kertas daur ulang dari kertas koran biasanya terlihat suram dan kotor serta kekuatan regangannya yang kurang baik (www.kertasjawa.blogspot.com, 2009).

Serat alam mempunyai beberapa keunggulan yaitu mampu meredam suara, isolasi temperatur, densitas rendah dan kemampuan mekanik tinggi sehingga dapat memenuhi kebutuhan industri (Felix *et al.*, 1991 dan Karnani, 1997). Serabut kelapa dan sekam padi merupakan limbah padat yang belum dimanfaatkan secara optimal. Menurut Direktorat Jenderal Perkebunan (2010) produksi kelapa di Indonesia mencapai 20,7 juta ton pada tahun 2009. Saat ini lembaran serabut kelapa kebanyakan hanya dimanfaatkan sebagai pelapis tempat tidur berpegas, matras, jok, karpet, keset dan peralatan rumah tangga lain. Menurut Badan Pusat Statistik (2010) jumlah produksi padi pada tahun 2009 sebesar 64,4 juta ton dan menurut Thahir (2002), satu butir gabah mengandung sekitar 21 – 25% sekam. Selama ini sekam padi biasanya hanya akan dibenamkan

di sawah atau dibakar yang akan menyebabkan timbulnya masalah pencemaran udara.

Pengaplikasian komposit ini akan digunakan sebagai panel yang tidak pernah lepas dari proses pembebanan. Pembebanan yang terjadi pada panel yaitu beban horisontal berupa orang bersandar di dinding maupun barang, beban yang merata dalam satu bidang yaitu angin, lendutan, dan beban kejut atau tumbukan tiba-tiba. Menurut SNI 7392:2008, spesifikasi panel dinding yang perlu diperhitungkan yaitu kuat lentur, kuat lentur aksial, kuat geser, dan lendutan. Oleh karena itu sebuah panel memerlukan adanya kekuatan lentur yang memadai. Untuk mengetahui kekuatan lentur yang dimiliki suatu material maka perlu dilakukan pengujian *bending* sehingga penelitian ini akan berfokus pada pengujian kekuatan *bending*. Kekuatan *bending* dapat mengukur tegangan *bending* terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi (perubahan bentuk karena gaya) yang besar atau kegagalan.

Nilai kekuatan *bending* diharapkan dapat memenuhi standar nilai MOR (*Modulus of Rupture*) yang merujuk pada Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk papan serat. Papan serat yaitu panel yang dihasilkan dari pengempaan serat kayu atau bahan berligno-selulosa lain dengan ikatan utama berasal dari bahan baku yang bersangkutan (khususnya lignin) atau bahan lain (khususnya perekat). Pemanfaatan limbah kertas, sekam padi, dan serabut kelapa sebagai komposit panel perlu dibuktikan melalui eksperimen. Faktor-faktor yang akan diteliti adalah pengaruh kandungan limbah kertas HVS, sekam padi, serabut kelapa, dan perekat terhadap kekuatan *bending*. Penelitian Yang, dkk. (2002) menunjukkan bahwa komposisi kertas berpengaruh terhadap kekuatan *bending*. Sedangkan penelitian Tsushima dkk. (2008) tentang kekuatan *bending* pada hibrida diperkuat serat menunjukkan bahwa jenis pengikat berpengaruh terhadap kekuatan *bending* komposit.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka permasalahan dalam penelitian ini yang akan dirumuskan adalah bagaimana pengaruh kombinasi bahan

dasar limbah kertas HVS dan campuran sabut kelapa dan sekam padi serta jenis perekat terhadap karakteristik kekuatan *bending*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh komposisi kertas HVS, sekam padi, serabut kelapa dan perekat lem kanji serta lem PVAc terhadap karakteristik mekanik kekuatan *bending*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat memberikan saran kombinasi bahan dan perekat pada desain komposit panel berdasarkan nilai kekuatan *bending* yang maksimum.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah kertas yang digunakan dalam penelitian adalah limbah kertas HVS.
2. Limbah kertas HVS yang diuji diperoleh dari sisa potongan-potongan kertas *fotocopy* sekitar Surakarta.
3. Limbah sekam padi diperoleh dari daerah Bekonang, Sukoharjo.
4. Limbah serabut kelapa diperoleh di daerah Kebumen, Jawa Tengah.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dibuat agar dapat memudahkan pembahasan penyelesaian masalah dalam penelitian ini. Penjelasan mengenai sistematika penulisan, sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan berbagai hal mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori yang akan dipakai untuk mendukung penelitian, sehingga perhitungan dan analisis dilakukan secara teoritis serta penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Landasan

teori diambil dari berbagai sumber yang berkaitan langsung dengan permasalahan yang dibahas dalam penelitian.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tahapan yang dilalui dalam penyelesaian masalah secara umum yang berupa gambaran terstruktur dalam bentuk *flowchart* sesuai dengan permasalahan yang ada mulai dari studi pendahuluan, pengumpulan data sampai dengan pengolahan data dan analisis.

BAB IV : PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini berisi data-data yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah, kemudian dilakukan pengolahan data secara bertahap.

BAB V : ANALISIS HASIL

Bab ini memuat uraian analisis hasil pengolahan data yang telah dilakukan

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menguraikan target pencapaian dari tujuan penelitian dan kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan masalah. Bab ini juga menguraikan saran dan masukan bagi kelanjutan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang teori-teori yang digunakan untuk menunjang penelitian yang akan dilakukan serta studi pustaka penelitian-penelitian sebelumnya.

2.1 Landasan Teori

Bagian ini menguraikan tentang komposit, bahan kertas, sekam padi dan sabut kelapa serta perekat lem kanji dan lem putih digunakan dalam pembahasan masalah. Sedangkan pengetahuan tentang sifat mekanik komposit yaitu kuat lentur (*bending*) bahan dan material akustik diperlukan dalam analisis hasil penelitian.

2.1.1. Komposit

Kata komposit (*composite*) merupakan kata sifat yang berarti susunan atau gabungan. Komposit berasal dari kata “*to compose*” yang berarti menyusun atau menggabungkan. Jadi secara sederhana bahan komposit berarti bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan. Dalam hal ini gabungan bahan ada dua macam yaitu (Jones, 1999):

- a. Gabungan secara makro, 1) dapat dibedakan secara visual, 2) penggabungan lebih secara fisis dan mekanis, 3) dapat dipisahkan secara fisis dan mekanis;
- b. Gabungan secara mikro, 1) tidak bisa dibedakan secara visual, 2) penggabungan ini lebih secara kimia, 3) sulit dipisahkan, tetapi dapat dilakukan secara kimia

Bahan komposit merupakan bahan gabungan secara makro sehingga bahan komposit dapat didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran atau kombinasi dua atau lebih unsur-unsurnya yang secara makro berbeda di dalam bentuk dan atau komposisi material pada dasarnya tidak dapat dipisahkan. Komposit dibentuk dari dua komponen penyusun yang berbeda yaitu penguat (*reinforcement*) yang mempunyai sifat sulit dibentuk tetapi lebih kaku

serta lebih kuat dan matrik yang umumnya mudah dibentuk tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah (Schwartz, 1984).

Perbedaan dan penggabungan dari unsur-unsur yang berbeda tersebut menyebabkan daerah-daerah yang berbatasan. Daerah tersebut disebut dengan *interface*. Sedangkan daerah ikatan antara material penyusun komposit disebut *interphase*. Berdasarkan uraian tersebut, maka aspek penting yang menunjukkan sifat-sifat mekanis dari komposit tersebut adalah optimasi dari ikatan antara *fiber* dan polimer (matrik) yang digunakan (Schwartz, 1984). Ikatan antara *fiber* dengan matrik dipengaruhi langsung oleh reaksi yang terjadi antara matrik dengan *fiber*. Dengan kata lain transfer beban atau tegangan diantara dua fase yang berbeda ditentukan oleh derajat adhesi.

Berdasarkan cara penguatannya komposit dibedakan menjadi tiga (Jones, 1975) yaitu :

- a. *Fibrous Composite* (komposit serat) merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat atau *fiber*. *Fiber* yang digunakan bisa berupa *glass fibers*, *carbon fibers*, *aramid fibers* (*poly aramide*) dan sebagainya. *Fiber* ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.
- b. *Laminated Composite* (komposit lapisan) merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.
- c. *Particulate Composite* (komposit partikel) merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya.

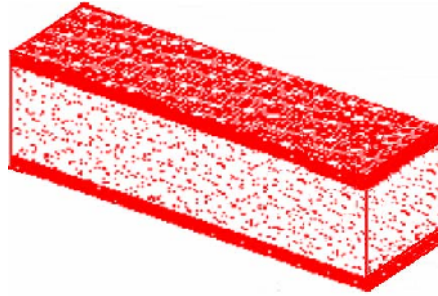
Sedangkan berdasarkan bentuk material pembentuknya, komposit dapat dibedakan menjadi lima macam yaitu komposit serat (*fiber composite*), komposit serpihan (*flake composite*), komposit butir (*particulate composite*), komposit isian (*filled composite*), dan komposit lapisan (*laminated composite*). Komposit dengan penguatan serat adalah jenis komposit yang paling sering dipakai dalam aplikasi. Hal ini karena komposit jenis ini memiliki sifat kekuatan tarik dan kekakuan yang bagus. Namun kelemahannya adalah struktur serat tersebut memiliki kekuatan

tekan dan kekuatan tarik arah melintang serat yang kurang bagus. Hasil dari komposit yang berlapis-lapis (*laminated composite*) memiliki kekerasan (*hardness*) dari unsur pokoknya tetapi kekuatan merupakan efek sinergi dari gabungan sifat material. Material komposit akan bersinergi bila memiliki sebuah sistem yang mempersatukan material-material penunjang untuk mencapai sebuah sifat material yang baru. Komposit serat dapat dibedakan berdasarkan jenis dan orientasi seratnya, yaitu komposit serat searah (*continous fiber composite*), serat anyaman (*woven fiber composite*), serat acak (*chopped fiber composite*), dan gabungan beberapa jenis serat (*hybrid fiber composite*) (Schwartz, 1984).

Secara umum komposit dengan penguatan serat tersusun dari dua material utama yaitu matrik dan serat. Antar kedua unsur material tersebut tidak terjadi reaksi kimia dan tidak larut satu sama lain, melainkan hanya ikatan antar muka diantara keduanya. Serat yang memiliki kekuatan lebih tinggi berperan sebagai komponen penguat, sedangkan matrik yang bersifat lemah dan liat bekerja sebagai pengikat dan memberi bentuk pada struktur komposit (Schwartz, 1984).

Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari tiga lapisan yang terdiri dari *flat composite* dan atau *metal sheet* sebagai *skin* serta *core* di bagian tengahnya. Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Sehingga untuk mendapatkan karakteristik tersebut, pada bagian tengah diantara kedua *skin* dipasang *core* (Schawrtz, 1984).

Komposit *sandwich* merupakan jenis komposit yang sangat cocok untuk menahan beban lentur, impak, meredam getaran dan suara. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Biasanya pemilihan bahan untuk komposit *sandwich*, syaratnya adalah ringan, tahan panas dan korosi, serta harga juga dipertimbangkan (Schawrtz, 1984).



Gambar 2.1 Bentuk komposit *sandwich*

1. Matrik

Matrik, sebagai pengisi ruang komposit, memegang peranan penting dalam mentransfer tegangan, melindungi serat dari lingkungan dan menjaga permukaan serat dari pengikisan. Matrik harus memiliki kompatibilitas yang baik dengan serat. Beberapa jenis matrik polimer termoset yang sering digunakan ialah *polyester, epoxy, phenolics, dan polyamids*, sedangkan yang termasuk jenis matrik polimer termoplast adalah *polyethylene, polypropylene, nilon, polycarbonate*, dan *polyether-ether keton* (Moncrieff, 1975).

Mazumdar (2002) menjelaskan fungsi penting matriks dalam komposit yaitu :

1. Mengikat serat menjadi satu dan mentransfer beban ke serat. Hal ini akan menghasilkan kekakuan dan membentuk struktur komposit.
2. Mengisolasi serat sehingga serat tunggal dapat berlaku terpisah. Hal ini dapat menghentikan atau memperlambat penyebaran retakan.
3. Memberikan suatu permukaan yang baik pada kualitas akhir komposit dan menyokong produksi bagian yang berbentuk benang-benang.
4. Memberikan perlindungan untuk memperkuat serat terhadap serangan kimia dan kerusakan mekanik karena pemakaian.
5. Berdasarkan matrik yang digunakan, karakteristik performansi meliputi kelenturan, kekuatan impak, dan sebagainya, juga turut dipengaruhi. Sebuah matrik yang ulet akan meningkatkan ketangguhan struktur komposit.

2. Serat

Serat secara umum terdiri dari dua jenis yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat alam adalah serat yang dapat langsung diperoleh dari alam. Biasanya berupa serat yang dapat langsung diperoleh dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Serat ini

telah banyak digunakan oleh manusia diantaranya adalah kapas, wol, sutera, pelepah pisang, sabut kelapa, ijuk, bambu, nanas dan knaf atau goni. Serat alam memiliki kelemahan yaitu ukuran serat yang tidak seragam, kekuatan serat sangat dipengaruhi oleh usia. Serat sintetis adalah serat yang dibuat dari bahan-bahan anorganik dengan komposisi kimia tertentu. Serat sintetis mempunyai beberapa kelebihan yaitu sifat dan ukurannya yang relatif seragam, kekuatan serat dapat diupayakan sama sepanjang serat. Serat sintetis yang telah banyak digunakan antara lain serat gelas, serat karbon, kevlar, nylon, dan lain-lain (Schwartz, 1984).

Tabel 2.1 Beberapa serat alam dan sifat mekaniknya

Serat	Diameter (µm)	Ultimate tensile stress, (MPa)	Modulus E (GPa)	Berat Jenis
Wood	15-20	160	23	1,5
Bamboo	15-30	550	36	0,8
Jute	10-50	580	22	1,5
Cotton	15-40	540	28	1,5
Wool	75	170	5,9	1,32
Coir	10-20	250	5,5	1,5
Bagasse	25	180	9	1,25
Rice husk	5-15	100	6	1,24
Natural silk	15	400	13	1,35
Spider silk	4	1750	12,7	-
Linen	-	270	-	-
Sisal	-	560	-	-
Asbestos	0.2	1700	160	2,5

Sumber : Vasiliev & Morozov (2001)

Stark and Rowlands (2002) mengungkapkan bahwa komposit yang diperkuat serat tanaman, sifat-sifat mekanisnya akan meningkat secara linear seiring dengan penambahan persen berat serat, karakteristik mekanik yang meningkat adalah kekuatan tarik, kekuatan *bending*, serta kekuatan impak.

Menurut Biswas, dkk. (2001), beberapa karakteristik yang juga merupakan kelebihan dari komposit yang diperkuat serat alam yaitu, 1) dapat dicat, dipoles, maupun dilaminasi, 2) tahan terhadap penyerapan air, 3) murah karena bahan baku seratnya banyak tersedia di alam dan proses pembuatannya relatif muda dan sederhana, 4) kuat dan kaku, 5) ramah lingkungan, karena materialnya merupakan bahan organik dan bisa didaur ulang secara alami oleh lingkungan, 6) memiliki kemampuan dan diproses dengan baik.

Disamping kelebihan-kelebihan di atas, komposit serat alam juga memiliki beberapa kelemahan, Rowell (1997) menyebutkan beberapa kelemahan komposit serat alam yaitu, 1) penurunan karena faktor biologi, yaitu adanya organisme yang mungkin tumbuh dan memakan karbohidrat yang terkandung dalam serat, sehingga menimbulkan enzim khusus yang akan merusak struktur serat, dan melepaskan ikatan antara serat dan matrik, 2) penurunan kualitas karena panas atau *thermal*, 3) penurunan panas karena radiasi ultraviolet, hal ini terjadi karena penyinaran ultraviolet akan menyebabkan meningkatnya karbohidrat dan berkurangnya lignin. Serat yang banyak mengandung karbohidrat akan memiliki kemampuan ikatan dengan matrik yang rendah, sehingga kekuatan matrik akan turun, 4) kekuatannya masih lebih rendah jika dibanding serat buatan.

Serat berperan sebagai penyangga kekuatan dari struktur komposit, beban yang awalnya diterima oleh matrik kemudian diteruskan ke serat oleh karena itu serat harus mempunyai kekuatan tarik dan elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik. Schwartz (1984) menjelaskan bahwa serat sebagai penguat dalam struktur komposit harus memenuhi persyaratan 1) modulus elastisitas yang tinggi, 2) kekuatan patah yang tinggi, 3) kekuatan yang seragam di antara serat, 4) stabil selama penanganan proses produksi, 5) diameter serat yang seragam.

Secara teoritis komposit serat yang menggunakan serat panjang akan memberikan nilai penguatan yang lebih efisien dan seragam dibanding serat pendek karena beban yang terjadi disalurkan secara merata sepanjang serat. Namun dalam prakteknya hal tersebut sulit dicapai karena sulit didapatkan nilai kekuatan optimum sepanjang serat serta tegangan yang terjadi tidak terbagi merata ke semua serat (Schwartz, 1984).

Serat tanaman, seperti kenaf, *flax* dan *hemp*, sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai penguat komposit untuk menggantikan serat gelas karena serat tanaman memiliki beberapa kelebihan, seperti dapat diperbaharui, jumlahnya berlimpah, murah, ringan, dapat didegradasi, tidak kasar untuk pembuatan peralatan, ketika dibakar menetralkan CO₂ dapat dibakar dengan menghasilkan energi, tidak menyebabkan iritasi kulit, sifat mekanis yang baik, sifat akustik dan isolasi panas yang baik. Massa jenis serat tanaman adalah 40% dibawah massa jenis serat gelas (Peijs, 2002).

Menurut *Building Material and Technology Promotion Council*, komposisi unsur kimia serat alam yang ditunjukkan pada tabel 2.2 dan sifat mekanis dan dimensi dari beberapa serat alam ditunjukkan oleh tabel 2.3

Tabel 2.2 Komposisi unsur kimia serat alam

Serat	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Kadar air (%)
Pisang	60-65	6-8	5-10	10-15
Sabut	43	<1	45	10-12
Flax	70-72	14	4-5	7
Jute	61-63	13	5-13	12,5
Rami	80-85	3-4	0,5	5-6
Sisal	60-67	10-15	8-12	10-12
Sun hemp	70-78	18-19	4-5	10-11
Cotton	90	6	-	7

Sumber: *Building Material and Technology Promotion Council*(1998)

Tabel 2.3 Sifat Mekanis Beberapa Serat Alam

Serat	Panjang (mm)	Diameter (mm)	Massa jenis (Kg/m ³)	Modulus Young (GPa)	Kekuatan Tarik (MPa)	Regangan (%)
Bambu	-	0,1-0,4	1500	27	575	3
Pisang	-	0,8-2,5	1350	1,4	95	5,9
Sabut	50-350	0,1-0,4	1440	0,9	200	29
Flax	500	NA	1540	100	1000	2
Jute	1800-3000	0,1-0,2	1500	32	350	1,7
Kenaf	30-750	0,04-0,09	-	22	295	-
Sisal	-	0,5-2	1450	100	1100	-

Sumber: *Building Material and Technology Promotion Council*(1998)

2.1.2. Kekuatan Fisik dan Mekanik

Sifat fisik meliputi volume dan densitas serta kekuatan mekanik yaitu kekuatan lentur (*bending*) diuraikan sebagai berikut.

1. Fraksi Volume

Jumlah kandungan serat dalam komposit, merupakan hal yang menjadi perhatian khusus pada komposit berpenguat serat. Jumlah serat serta karakteristik dari serat tersebut merupakan salah satu elemen kunci dalam analisis mikromekanik komposit. Untuk memperoleh komposit berkekuatan tinggi, distribusi serat dengan matrik harus merata pada proses pencampuran agar mengurangi timbulnya *void*. Untuk menghitung fraksi volume, parameter yang

harus diketahui adalah berat jenis matrik, berat jenis serat, berat komposit dan berat serat. Adapun fraksi volume ditentukan dengan persamaan (Gibson, 1994) :

Diasumsikan volume *void* (V_v) = 0

$$w_f + w_m = 1 \dots\dots\dots (2.1)$$

$$w_f = \frac{\rho_f \cdot v_f}{\rho_f \cdot v_f + \rho_m \cdot v_m} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

w_f, w_m = fraksi berat serat dan matriks

ρ_f, ρ_m = densitas serat dan matriks (gr/cm^3)

v_f, v_m = fraksi volume serat dan matriks (cm^3)

2. Pengujian Densitas

Pengujian densitas merupakan pengujian sifat fisis terhadap spesimen, yang bertujuan untuk mengetahui nilai kerapatan massa dari spesimen yang diuji. Rapat massa (*mass density*) suatu zat adalah massa per satuan volume.

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

ρ = densitas benda (gr/cm^3)

m = massa benda (gr)

v = volume benda (cm^3)

Dalam pengujian densitas spesimen di sini pada prinsipnya menggunakan perbedaan antara massa spesimen di udara (m_{udara}) dan massa spesimen ditimbang di air (m_{air}). Untuk massa spesimen di udara (m_{udara}) dapat dihitung dengan menimbang spesimen dengan timbangan secara normal yang merupakan massa spesimen yang sesungguhnya tanpa adanya gaya ke atas atau gaya dorong ke atas, sedangkan untuk massa spesimen dalam air (m_{air}) sama dengan massa air yang dipindahkan atau tumpah. Hal ini dipengaruhi gaya angkat ke atas oleh air atau adanya gaya dorong ke atas terhadap spesimen, yang menyebabkan nilai berat spesimen di air cenderung lebih kecil dibandingkan berat spesimen di udara.

Adapun hubungan formula rumusan densitas menurut teori Archimides dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :

$$\rho = \frac{m_{udara}}{m_{udara} - m_{air}} \times \rho_{air} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

m_{udara} = berat spesimen di udara (gr)

m_{air} = berat spesimen dalam fluida (gr)

ρ_{air} = densitas fluida air (gr/ cm³)

3. Kekuatan dan Modulus Bending Komposit

Untuk mengetahui kekuatan *bending* suatu material maka perlu dilakukan pengujian *bending* terhadap material tersebut. Kekuatan *bending* atau kekuatan lengkung adalah tegangan *bending* terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Akibat pengujian *bending*, pada bagian atas spesimen akan mengalami tekanan, dan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Kegagalan yang terjadi akibat pengujian *bending*, komposit akan mengalami patah pada bagian bawah yang disebabkan karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima. Kekuatan *bending* suatu material dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini (SNI 01-4449, 2006) :

$$MOR = \frac{3BS}{2LT^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

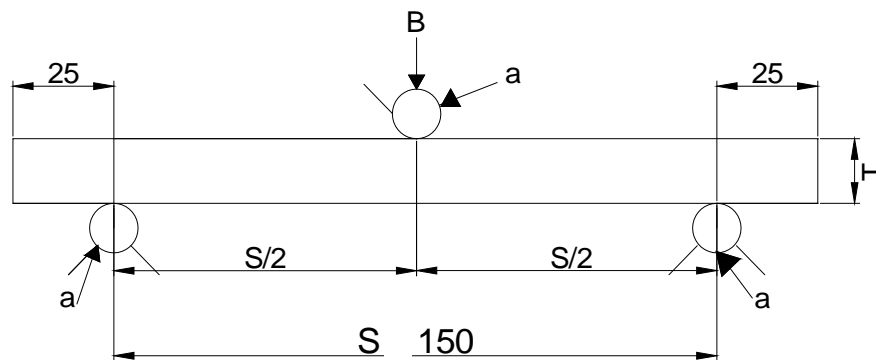
MOR = *modulus of rupture* (kgf/cm²)

B = besarnya beban maksimum (kgf)

S = jarak sangga (cm)

L = lebar contoh uji papan serat (cm)

T = tebal contoh uji papan serat (cm)



Gambar 2.2 Uji Keteguhan Lentur

Sumber: SNI, 2006

Keterangan gambar :

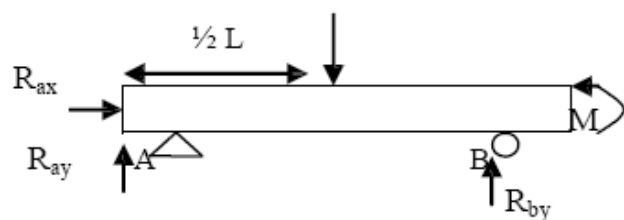
B = beban (kgf)

S = jarak sangga (mm)

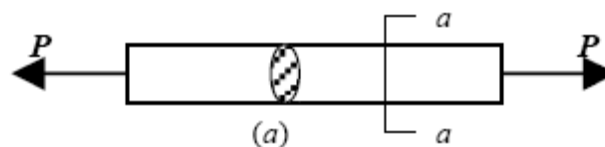
a = diameter

T = tebal papan serat

Berikut merupakan gambar distribusi tegangan pada pengujian *bending* dan pengujian tarik.



Gambar 2.3 Distribusi gaya pada pengujian bending

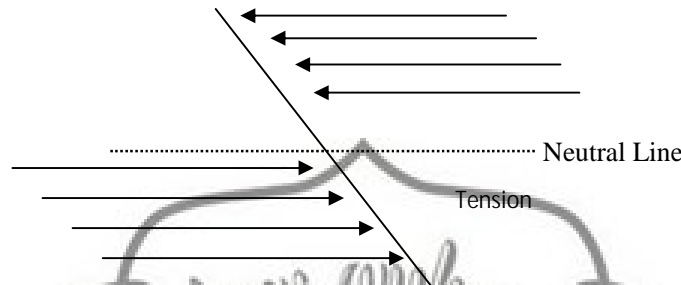


Gambar 2.4 Distribusi gaya pada pengujian tarik

Pada pengujian tarik gaya-gaya diarahkan menjauhi batang, gaya P yang bekerja tegak-lurus (normal) pada penampang melintang a-a ini secara aktual merupakan resultan distribusi gaya-gaya yang bekerja pada penampang melintang dengan arah normal. Apabila gaya-gaya dikenakan pada ujung-ujung batang sedemikian sehingga batang dalam kondisi tertarik, maka terjadi suatu tegangan

tarik pada batang, sedangkan pada pengujian *bending* bagian atas mengalami tekanan.

Pada suatu material, terjadi reaksi terhadap pembebanan ini, yaitu adanya tegangan tarik dan tekan, reaksi ini digambarkan sebagai distribusi tegangan pada gambar 2.5 dan gambar 2.6 dimana dari skema ini kita dapat menggambarkan gaya-gaya yang bekerja.



Gambar 2.5 Skema distribusi tegangan pada spesimen pada pengujian *bending*



Gambar 2.6 Skema distribusi tegangan pada spesimen pada pengujian tarik

Modulus pecah (MOR) telah menjadi suatu pengukuran yang umum tentang kekuatan lengkung pada komposit, dalam hal ini adalah papan serat. MOR adalah tegangan lengkung akhir yaitu sebelum terjadinya patah dari suatu material dalam kelengkungannya, dan itu sering digunakan untuk membandingkan material satu dengan lainnya. Sedangkan kekuatan tarik maksimum atau *ultimate tensile strenght* didefinisikan sebagai tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadi patahan (*fracture*)

2.2 Klasifikasi Papan Serat

Menurut SNI 01-4449-2006, papan serat yaitu panel yang dihasilkan dari pengempaan serat kayu atau bahan berligno-selulosa lain dengan ikatan utama berasal dari bahan baku yang bersangkutan (khususnya lignin) atau bahan lain (khususnya perekat) untuk memperoleh sifat khusus, diklasifikasikan menjadi tiga

berdasarkan kerapatannya yaitu papan serat kerapatan rendah, papan serat kerapatan sedang dan papan serat kerapatan tinggi.

Pengukuran Kerapatan sebagai berikut

$$K = \frac{B}{l} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

K = kerapatan (g/cm^3) dalam 2 desimal;

B = massa (g);

l = isi (cm^3) = panjang (cm) x lebar (cm) x tebal (cm)

a. PSKR (Papan Serat Kerapatan Rendah)

Papan serat kerapatan rendah yaitu papan serat yang memiliki kerapatan < 0,40 (g/cm^3). Standar nilai MOR (*Modulus of Rupture*) ditunjukkan pada tabel 2.4 (SNI 01-4449, 2006).

Tabel 2.4. Klasifikasi PSKR berdasarkan kerapatan dan nilai MOR

Tipe	Kerapatan (g/cm^3)	Nilai MOR (kgf/cm^2)	
1	< 0,27	1,0	10,2
2	< 0,35	2,0	20,4
3	< 0,40	3,0	30,6

Sumber: SNI, 2006

Tabel 2.5 Syarat fisis dan mekanis PSKR

Jenis PSKR	Tebal (cm)	Nilai MOR	
		kgf/cm^2	kgf/cm^2
Tipe 1	1	1,0	10,2
	1,5		
	2,0		
Tipe 2	0,9	2,0	20,4
	1,2		
	1,5		
	1,8		
Tipe 3	0,9	3,0	30,6
	1,2		
	1,5		
	1,8		

Sumber: SNI, 2006

b. PSKS (Papan Serat Kerapatan Sedang)

Papan serat kerapatan sedang yaitu papan serat yang memiliki kerapatan 0,40 – 0,84 (g/cm^3). Standar nilai MOR (*Modulus of Rupture*) ditunjukkan pada tabel 2.6 (SNI 01-4449, 2006).

Tabel 2.6 Klasifikasi PSKS berdasarkan nilai MOR

Tipe	Nilai MOR	
	kgf/cm^2	kgf/cm^2
30	30,0	30,6
25	25,0	25,5
15	15,0	15,3
5	5,0	5,1

Sumber: SNI, 2006

Sedangkan syarat fisik mekanis papan serat kerapatan sedang dijelaskan pada tabel 2.7

Tabel 2.7 Syarat sifat mekanis PSKS

Tipe	Nilai MOR					
	Modulus patah				Modulus elastisitas	
	Kering		Basah			
	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	10 ⁴ kgf/cm ²
Tipe 30	30,0	306	15,0	15,3	2500	2,55
Tipe 25	25,0	255	12,5	12,5	2000	2,04
Tipe 15	15,0	153	7,5	7,7	1300	1,33
Tipe 5	5,0	51	–	–	800	0,82

Sumber: SNI, 2006

c. PSKT (Papan Serat Kerapatan Tinggi)

Papan serat kerapatan tinggi yaitu papan serat yang memiliki kerapatan $>0,84$ (g/cm^3). Klasifikasi PSKT berdasarkan perlakuan ditunjukkan pada tabel 2.8 dan berdasarkan kondisi permukaan ditunjukkan pada tabel 2.9 (SNI 01-4449, 2006).

Tabel 2.8 Klasifikasi PSKT berdasarkan perlakuan

Tipe	Perincian
T1	PSKT tanpa perlakuan
T2	PSKT dengan perlakuan
CATATAN Perlakuan bisa mencakup antara lain: perlakuan panas, perlakuan minyak, atau impregnasi resin.	

Sumber: SNI, 2006

Tabel 2.9 Klasifikasi PSKT berdasarkan kondisi permukaan

Tipe		Kondisi permukaan
T1	PSKT biasa tanpa perlakuan (T1B1)	Permukaan tidak diampelas
	PSKT biasa tanpa perlakuan (T1B2)	Satu atau dua permukaan diampelas
	PSKT dekoratif interior tanpa perlakuan (T1D)	Satu atau dua permukaan direkat/dilapisi dengan bahan resin, film, kertas, atau dilaburi cat resin sintetis
T2	PSKT biasa dengan perlakuan (T2B1)	Permukaan tidak diampelas
	PSKT biasa dengan perlakuan (T2B2)	Satu atau dua permukaan diampelas
	PSKT dekoratif eksterior dengan perlakuan (T2D)	Satu atau dua permukaan direkat/dilapisi dengan bahan resin, film, kertas, atau dilaburi cat resin sintetis

Sumber: SNI, 2006

Standar keteguhan lentur dan modulus patah ditunjukkan pada tabel 2.10

Tabel 2.10 Klasifikasi PSKT berdasarkan nilai MOR

Tipe	Nilai MOR	
	kgf/cm ²	kgf/cm ²
T135	35,0	35,7
T1 25	25,0	25,5
T1 20	20,0	20,4
T2 45	45,0	45,9
T2 35	35,0	35,7

Sumber: SNI, 2006

2.3 Material akustik

Telinga normal tanggap terhadap bunyi di antara jangkauan frekuensi audio sekitar 20 sampai 20.000 Hz. Kebanyakan bunyi (pembicaraan, musik, dan bising) terdiri dari banyak frekuensi, yaitu komponen-komponen frekuensi rendah, tengah, medium. Oleh sebab itu amatlah penting untuk memeriksa masalah-masalah akustik meliputi spektrum frekuensi yang dapat didengar. Frekuensi standar yang dapat dipilih secara bebas sebagai wakil yang penting dalam akustik lingkungan adalah 125, 250, 500, 1000, 2000, dan 4000 Hz atau 128, 256, 512, 1024, 2048, dan 4096 Hz (Doelle, 1986).

2.3.1. Penyerapan bunyi

Doelle (1986) menyatakan efisiensi penyerapan suatu bunyi suatu bahan pada suatu frekuensi tertentu dinyatakan oleh koefisien penyerapan bunyi. Koefisien penyerapan bunyi suatu permukaan adalah bagian energi bunyi datang yang diserap, atau tidak dipantulkan oleh permukaan. Koefisien ini dinyatakan dalam huruf Greek α . Misalnya pada 500 Hz bila bahan akustik menyerap 65% dari energi bunyi datang dan memantulkan 35% dari padanya, maka koefisien penyerapan bunyi bahan ini adalah 0,65.

Karakteristik dari serapan bunyi bervariasi terhadap frekuensi. Efisiensi dari serapan bunyi dinyatakan dalam bilangan antara 0 dan 1. Nilai koefisien serapan 0 menyatakan tidak ada energi bunyi yang diserap dan nilai koefisien serapan 1 menyatakan serapan yang sempurna (Hassal and Zaveri, 1988)

Dalam kepustakaan akustik arsitektur dan pada lembaran informasi yang diterbitkan oleh pabrik-pabrik dan penyalur, bahan akustik komersial kadang-kadang dicirikan oleh koefisien reduksi bising (*Noise Reduction Coefficient – NRC*), yang merupakan rata-rata dari koefisien penyerapan bunyi pada frekuensi 250, 500, 1000, dan 2000 Hz yang dinyatakan dalam kelipatan terdekat dari 0,05. Nilai ini berguna dalam membandingkan penyerapan bunyi bahan-bahan akustik komersial secara menyeluruh bila digunakan untuk tujuan reduksi bising (Doelle, 1986).

Bila bunyi menumbuk suatu permukaan, maka ia dipantulkan atau diserap. Energi bunyi yang diserap oleh lapisan penyerap sebagian diubah menjadi panas, tetapi sebagian besar ditransmisikan ke sisi lain lapisan tersebut, kecuali bila transmisi tadi dihalangi oleh penghalang yang berat dan kedap. Dengan perkataan lain penyerap bunyi yang baik adalah pentransmisi bunyi yang efisien dan arena itu adalah insulator bunyi yang tidak baik. Sebaliknya dinding insulasi bunyi yang efektif akan menghalangi transmisi bunyi dari satu sisi ke sisi lain. Bahan-bahan dan konstruksi penyerap bunyi dapat dipasang pada dinding ruang ataupun digantung di udara (Doelle, 1986). Bahan-bahan tersebut dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Bahan berpori, seperti papan serat (*fiber board*), plesteran lembut, mineral *wools*, dan selimut isolasi, memiliki karakteristik dasar suatu jaringan seluler

dengan pori-pori yang saling berhubungan. Energi bunyi datang diubah menjadi energi panas dalam pori-pori ini. Bahan-bahan selular, dengan sel yang tertutup dan tidak saling berhubungan seperti damar busa, karet selular, dan gelas busa, adalah penyerap bunyi yang buruk. Penyerap berpori mempunyai karakteristik penyerapan bunyinya lebih efisien pada frekuensi tinggi dibandingkan pada frekuensi rendah dan efisiensinya membaik pada jangkauan frekuensi rendah dengan bertambahnya tebal lapisan penahan yang padat dan dengan bertambahnya jarak dari lapisan penahan ini. Bahan berpori ini antara lain ubin selulosa, serat mineral, serat-serat karang (*rock wool*), serat-serat gelas (*glass wool*), serat-serat kayu, lakan (*felt*), rambut, karpet, kain dan sebagainya.

- b. Penyerap panel atau selaput merupakan penyerap frekuensi rendah yang efisien. Bila dipilih dengan benar, penyerap panel mengimbangi penyerapan frekuensi sedang dan tinggi yang agak berlebihan oleh penyerap-penyerap berpori dan isi ruang. Jadi penyerap ruang menyebabkan karakteristik dengung yang serba sama pada seluruh jangkauan frekuensi audio. Penyerap-penyerap panel yang berperan pada penyerapan frekuensi rendah antara lain panel kayu dan *hardboard*, *gypsum boards*, langit-langit plesteran yang digantung, plesteran berbulu, jendela, kaca, dan pintu. Bahan-bahan yang berpori yang diberi jarak dari lapisan penunjangnya yang padat juga berfungsi sebagai penyerap panel yang bergetar dan menunjang penyerapan pada frekuensi rendah.
- c. Resonator rongga (*Helmholtz*) merupakan penyerap bunyi yang terdiri dari sejumlah udara tertutup yang dibatasi dinding-dinding tegar dan dihubungkan oleh celah sempit ke ruang sekitarnya, di mana gelombang bunyi merapat.

Nilai koefisien serapan bunyi untuk material-material tertentu ditampilkan pada tabel 2.11.

Tabel 2.11 Koefisien serapan bunyi pada bahan bangunan umum

Material	Koefisien Absorpsi ()			
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Batu	0,03	0,03	0,04	0,05
Beton	0,01	0,02	0,02	0,02
<i>Glass</i>				
- <i>Large panes of heavy plate glass</i>	0,06	0,04	0,03	0,02
- <i>Standard window</i>	0,25	0,18	0,12	0,07
<i>Gypsum board, ½ in.</i>	0,1	0,05	0,04	0,07
<i>Plasters</i>				
- <i>Gypsum</i>	0,01	0,02	0,03	0,04
- Pada bilah, atas ruang udara atau pada balok/ tiang	0,3	0,15	0,10	0,05
<i>Plywood panels</i>	0,3	0,1	0,09	0,09
Karpet, berat pada beton	0,06	0,14	0,37	0,6
Tirai, tergantung lurus, dipasang pada dinding	0,03	0,04	0,11	0,17
Lantai beton atau teraso	0,01	0,015	0,02	0,02
- Linoleum, vinyl, karet atau lantai gabus pada beton	0,03	0,03	0,03	0,03
- Kayu	0,11	0,10	0,07	0,06
Panel kayu ½ in.	0,25	0,20	0,17	0,15
<i>Polyurethane foam</i>	0,07	0,1	0,2	0,45

Sumber : Lewis and Douglas, 1994

Menurut ISO 11654, koefisien serap bising diklasifikasikan sebagai berikut

Tabel 2.12 Pengklasifikasian serapan bising

<i>Sound absorption classes</i>	<i>w</i>
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,25; 0,20; 0,15
Not classified	0,10; 0,05; 0,00

Sumber : ISO 11654, 1997

2.3.2. Pemasangan dan Distribusi Bahan-Bahan Penyerap

Karakteristik penyerapan bunyi tidak boleh dianggap seperti sifat intrinsik bahan-bahan akustik, tetapi sebagai suatu segi yang sangat tergantung pada sifat-sifat fisik, detail pemasangan dan kondisi lokal. Tidak ada tipe cara pemasangan tertentu yang dapat dikatakan sebagai pemasangan optimum untuk setiap pemasangan. Berbagai macam perincian yang harus diperhatikan secara serentak yaitu tentang sifat-sifat bahan akustik, kekuatan, susunan (*texture*)

permukaan, dan lokasi dinding-dinding ruang di mana bahan akustik akan dipasang, ruang yang tersedia untuk lapisan permukaan tersebut, waktu yang dibutuhkan untuk pekerjaan itu, kemungkinan penggantian di waktu yang akan datang, biaya dan lain-lain (Doelle, 1986).

2.3.3. Pemilihan Bahan Penyerap Bunyi

Bahan-bahan akustik dimaksudkan untuk mengkombinasikan fungsi penyerapan bunyi dan penyelesaian interior, maka dalam pemilihan lapisan akustik sejumlah pertimbangan di luar segi akustik juga harus diperhatikan. Perincian berikut ini harus diperiksa dalam pemilihan lapisan-lapisan penyerap bunyi yaitu mengenai koefisien penyerapan bunyi pada frekuensi-frekuensi wakil jangkauan frekuensi audio, penampilan (ukuran, tepi, sambungan, warna, jaringan), daya tahan terhadap kebakaran dan hambatan terhadap penyebaran api, biaya instalasi, kemudahan instalasi, keawetan (daya tahan terhadap tumbukan, luka-luka mekanis, dan goresan), pemantulan cahaya, ketebalan dan berat, nilai insulasi termis, daya tarik terhadap kutu, kutu busuk, jamur, kemungkinan pengantiannya dan kebutuhan serentak akan insulasi bunyi yang cukup (Doelle, 1986).

Jenis bahan peredam suara yang sudah ada yaitu bahan berpori, resonator dan panel (Lee, and Changwhan 2003). Dari ketiga jenis bahan tersebut, bahan berporilah yang sering digunakan. Khususnya untuk mengurangi kebisingan pada ruang-ruang yang sempit seperti perumahan dan perkantoran. Hal ini karena bahan berpori relatif lebih murah dan ringan dibanding jenis peredam lain (Lee, and Changwhan 2003). Material yang telah lama digunakan pada peredam suara jenis ini adalah *glasswool* dan *rockwool*.

2.3.4. Pengaruh bising dan Pengukuran Bising

Bising yang cukup keras, di atas sekitar 75 dB, dapat menyebabkan kegelisahan, kurang enak badan, kejenuhan mendengar, sakit lambung dan masalah peredaran darah. Bising yang sangat keras, di atas 85 dB, dapat menyebabkan kemunduran yang serius pada kesehatan seseorang pada umumnya, dan bila berlangsung lama, kehilangan pendengaran sementara atau permanen dapat terjadi. Bising yang berlebihan dan berkepanjangan terlihat dalam masalah-masalah kelainan seperti penyakit jantung, tekanan darah tinggi dan luka perut.

Tabel 2.13 Singkap bising yang diijinkan seperti yang dinyatakan dalam *Walsh-Healay Public Contracts Act (United States)*

Durasi, per hari jam	Tingkat bunyi Db-a
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1½	102
1	105
½	110
¼ atau kurang	115

Sumber : Doelle, 1986

Tabel 2.14 Kriteria bising latar belakang yang direkomendasi untuk ruang-ruang

Jenis ruang	Bilangan NC
Ruang konser	15-20
Studio radio atau studio rekaman	15-20
Rumah opera	20
Panggung sandiwara	20-25
Ruang musik	20-25
Studio televisi	20-25
Kantor eksekutif	20-30
Ruang kelas atau ruang kuliah	25
Studio film	25
Ruang konferensi	25-30
Tempat ibadah	25-30
Ruang pengadilan	25-30
Ruang pertemuan atau auditorium sekolah	25-35
Rumah	25-35
Hotel	25-35
Teater film	30
Rumah sakit	30
Kantor semi pribadi	30-35
Perpustakaan	30-35
Kantor bisnis	35-45
Rumah makan	35-50
Ruang gambar	40-45
Ruang olahraga	45-50
Ruang ketik atau akuntansi	45-60
Stadion besar	50

Sumber : Doelle, 1986

2.3.5. Desain Akustik

Desain akustik ruangan tertutup pada intinya adalah mengendalikan komponen suara langsung dan pantul, dengan cara menentukan karakteristik akustik permukaan dalam ruangan (lantai, dinding dan langit-langit) sesuai dengan fungsi ruangnya. Ada ruangan yang karena fungsinya memerlukan lebih banyak karakteristik serap (studio, *home theater*, dll) dan ada yang memerlukan gabungan antara serap dan pantul yang berimbang (auditorium, ruang kelas, dsb). Dengan mengkombinasikan beberapa karakter permukaan ruangan, seorang desainer akustik dapat menciptakan berbagai macam kondisi mendengar sesuai dengan fungsi ruangnya, yang diwujudkan dalam bentuk parameter akustik ruangan (Sarwono, 2008).

Karakteristik akustik permukaan ruangan pada umumnya dibedakan atas (Sarwono, 2008):

- Bahan penyerap suara (*absorber*) yaitu permukaan yang terbuat dari material yang menyerap sebagian atau sebagian besar energi suara yang datang padanya, misalnya *glasswool*, *mineral wool*, *foam*. Bahan ini bisa berwujud sebagai material yang berdiri sendiri atau digabungkan menjadi sistem *absorber* (*fabric covered absorber*, *panel absorber*, *grid absorber*, *resonator absorber*, *perforated panel absorber*, *acoustic tiles*, dsb).
- Bahan pemantul suara (*reflector*) yaitu permukaan yang terbuat dari material yang bersifat memantulkan sebagian besar energi suara yang datang kepadanya. Pantulan yang dihasilkan bersifat spekular (mengikuti kaidah Snellius yaitu sudut datang = sudut pantul). Contoh bahan ini misalnya keramik, marmer, logam, aluminium, *gypsum board*, beton, dsb.
- Bahan penyebar suara (*diffuser*) yaitu permukaan yang dibuat tidak merata secara akustik yang menyebarkan energi suara yang datang kepadanya, misalnya QRD *diffuser*, BAD panel, *diffsorber* dsb.

2.4 Bahan-bahan Penyusun Komposit

Komposit *core* ini berbasis limbah kertas HVS dengan variasi pencampur serabut kelapa dan sekam padi serta perekat lem kanji dan lem putih.

2.4.1. Kertas

Kertas (*paper*) berasal dari bahasa Yunani yang ditujukan untuk penyebutan material media menulis yang disebut *papyrus*. Kertas terbuat dari serat tumbuhan yang digabungkan menjadi lembaran-lembaran. Pada awal pembuatannya, kertas dibuat dari kapas. Saat ini kertas dapat dibuat dari kulit kayu. Kertas adalah bahan tipis dan rata yang dihasilkan dengan kompresi serat yang berasal dari *pulp*. *Pulp* terdiri dari serat-serat (selulosa dan hemiselulosa) sebagai bahan baku kertas. *Pulp* adalah hasil pemisahan serat dari bahan baku berserat (kayu maupun non kayu) melalui berbagai proses pembuatannya (Sidharta dan Indrawati, 2009).

Miasa dan Sriwijaya (2004) dalam penelitiannya mengenai sifat akustik penghalang kebisingan dari kertas dan plastik, menyatakan bahwa peredam kebisingan buatan dari kertas dan plastik (termasuk di dalamnya kertas dan plastik bekas) mempunyai kemampuan meredam kebisingan lebih baik daripada tanaman dengan kemampuan hambatan aliran dapat diatur.

Bahan baku pembuatan kertas adalah selulosa yang diberi perlakuan kimia, dibilas, diuraikan, dipucatkan, dibentuk menjadi lembaran setelah *pressing* dan dikeringkan. Kayu terdiri dari 50% selulosa, 30% lignin dan bahan bersifat adhesif di lamela tengah, 20% karbohidrat berupa xylan, resin dan tanin. Jenis kayu dan lembaran akhir kertas yang diinginkan sangat menentukan cara pembuatan kertas. Pada pembuatan kertas dengan bahan baku berupa kayu terlebih dahulu dibuat menjadi *pulp* (Julianti, 2006).

Selulosa merupakan senyawa polisakarida yang terdapat banyak di alam. Bobot molekulnya tinggi, strukturnya teratur berupa polimer yang linear terdiri dari unit ulangan -D-glukopiranos. Karakteristik selulosa antara lain muncul karena adanya struktur kristalin dan amorf serta pembentukan mikro fibril dan fibril yang pada akhirnya menjadi serat selulosa. (Anonim, 2002)

Selulosa merupakan senyawa organik yang terdapat pada dinding sel bersama lignin berperan dalam mengokohkan struktur tumbuhan. Selulosa pada kayu umumnya berkisar 40-50%. Selulosa tersusun atas glukosa dan lazim disebut sebagai serat dan merupakan polikasarida terbanyak. Selulosa banyak terdapat pada dinding sel tanaman, alga, dan jamur. Penggunaan dalam industri, selulosa

dapat digunakan sebagai bahan pembuatan *pulp* dan kapas yang akan memproduksi kertas dan karton. Selulosa tidak mempunyai rasa dan bau, bersifat *hidrofilik*, tidak larut dalam kebanyakan pelarut organik, serta dapat terbiodegradasi (Anonim, 2002).

Sifat-sifat selulosa tergantung pada derajat polimerisasi rantai panjang, jumlah unit glukosa yang terbentuk pada molekul polimer. Selulosa pada pulp kayu mempunyai panjang rantai antara 300 sampai 1700 unit, kapas dan serat tumbuhan lain hampir sama dengan selulosa bakterial mempunyai panjang rantai berkisar antara 800 sampai 10.000 unit. Molekul rantai panjang yang sangat kecil yang diperoleh dari pemecahan selulosa disebut *xelodekstrin*. *Xelodekstrin* larut dalam air dan pelarut organik. (www.wikipedia.com)

Serat selulosa juga dapat menyerap air dan memiliki regangan (Sidharta dan Indrawati, 2009). Sedangkan kelebihan serat selulosa yang lain sebagai berikut (*Je Audible Music*, 2009) :

- 1) Memiliki daya serap yang tinggi terhadap suara yaitu NRC mencapai 0,9 sehingga mampu menyerap *reverberation* (gema/gaung) dengan optimal.
- 2) Memiliki kepadatan massa jenis mencapai 80kg/m^3 sehingga mampu menghalangi suara dengan sangat baik.
- 3) Tidak merambatkan api seperti pada umumnya bahan insulasi.
- 4) Aman bagi kesehatan, tidak menyebabkan *carcinogen* (kanker) atau alergi.
- 5) Tidak berjamur.
- 6) Serangga, tikus, ngengat dan sejenisnya tidak akan tinggal pada material.

Hemiselulosa merupakan suatu polisakarida lain yang terdapat dalam tanaman dan tergolong senyawa organik. Degradasi hemiselulosa dalam asam lebih tinggi dibandingkan dengan delignifikasi, dan hidrolisis dalam suasana basa tidak semudah dalam suasana asam menyatakan bahwa adanya hemiselulosa mengurangi waktu dan tenaga yang diperlukan untuk melunakkan serat dalam proses mekanis dalam air. Hemiselulosa bersifat sebagai pendukung dinding sel dan berlaku sebagai perekat antar sel tunggal yang terdapat di dalam tanaman lainnya. Kandungan hemiselulosa yang tinggi memberikan kontribusi pada ikatan antar serat, karena hemiselulosa bertindak sebagai perekat dalam setiap serat tunggal. (Sungai, 2009).

2.4.2. Serabut Kelapa

Serabut kelapa merupakan salah satu hasil sampingan dari buah kelapa yang berupa serat-serat kasar. Sabut kelapa menyusun sekitar 35% dari total bobot buah. Serat sabut kelapa, atau dalam perdagangan dunia dikenal sebagai *coco fiber*, *coir fiber*, *coir yarn*, *coir mats*, dan *rugs*, merupakan produk hasil pengolahan sabut kelapa. Secara tradisional serat sabut kelapa hanya dimanfaatkan untuk bahan pembuat sapu, keset, tali dan alat-alat rumah tangga lain. Perkembangan teknologi, sifat fisika-kimia serat, dan kesadaran konsumen untuk kembali ke bahan alami, membuat serat sabut kelapa dimanfaatkan menjadi bahan baku industri karpet, jok dan *dashboard* kendaraan, kasur, bantal, dan *hardboard*. Serat sabut kelapa juga dimanfaatkan untuk pengendalian erosi. Serat sabut kelapa diproses untuk dijadikan *coir fiber sheet* yang digunakan untuk lapisan kursi mobil, *spring bed* dan lain-lain (PPUK BI).

Komposisi kimia sabut kelapa terdiri atas selulosa, lignin, *pyroligneous acid*, gas, arang, ter, tannin, dan potasium. Salah satu produk yang dapat diolah dari tanaman kelapa adalah serabut kelapa. Namun saat ini pemanfaatan serabut kelapa masih sangat kurang di kalangan masyarakat. Hal ini diakibatkan kurangnya pemahaman tentang nilai ekonomi produk ini. Disisi lain teknologi dan informasi pasar tentang serabut kelapa belum banyak diketahui oleh masyarakat. Produk primer dari pengolahan sabut kelapa terdiri atas serat (serat panjang), *bristle* (serat halus dan pendek), dan debu sabut. Serat dapat diproses menjadi serat berkaret, matras, *geotextile*, karpet, dan produk-produk kerajinan/industri rumah tangga. Matras dan serat berkaret banyak digunakan dalam industri jok, kasur, dan pelapis panas (Rindengan dkk., 1995).

Sabut kelapa memiliki beberapa sifat yaitu tahan lama, kuat terhadap gesekan dan tidak mudah patah, tahan terhadap air (tidak mudah membusuk), tahan terhadap jamur dan hama (Ulfa, 2006). Selain itu, sabut kelapa juga mempunyai kelebihan dapat menahan kandungan air dan potensial didayagunakan sebagai *adsorben* (penyerap) polutan logam berat yang sangat berbahaya bagi manusia (Faozi, 2009). Kelebihan serat serabut kelapa (*coir fiber*) menurut *Choir Institute* yang terdapat di www.rumahsabut.com yaitu, 1) anti ngengat, tahan terhadap jamur dan membusuk, 2) memberikan insulasi yang

sangat baik terhadap suhu dan suara, 3) tidak mudah terbakar, 4) *flame-retardant*, 5) tidak terkena oleh kelembaban dan kelembaban, 6) alot dan tahan lama, 7) *resilient*, mata kembali ke bentuk konstan bahkan setelah digunakan., 8) *totally statis*, 9) mudah dibersihkan, 10) mampu menampung air 3x dari beratnya, 11) sabut 15 kali lebih lama daripada kapas untuk rusak, 12) sabut tujuh kali lebih lama dari rami untuk rusak, dan 13) sabut *geotextiles* adalah 100% *bio-degradable* dan ramah lingkungan.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Balai Penelitian dan Pengembangan Industri Menado (1996) diketahui bahwa papan partikel yang dibuat dari serbuk sabut kelapa dengan variasi kadar perekat pada berbagai kerapatan, karakteristik sifat daya serap airnya sangat berbeda dengan sifat daya serap air papan partikel yang terbuat dari kayu, yaitu sifat daya serap airnya antara 3,5 sampai 5,5 kali dari beratnya, sedangkan untuk sifat daya serap oli nilainya berkisar antara 2,5 sampai 4 kali dari beratnya. Berdasarkan sifat penyerapan air dan oli yang tinggi ini memungkinkan pemanfaatan produk papan partikel yang terbuat dari serbuk sabut kelapa ini dapat digunakan sebagai bahan penyerap air atau oli. Disamping itu dapat juga digunakan sebagai pengganti papan busa sebagai bahan pembungkus anti pecah yang ramah lingkungan karena bahan ini kemungkinan besar dapat terdekomposisi secara alami.

Banyaknya pemanfaatan sabut kelapa tersebut karena produk olahan sabut kelapa mudah dan murah, juga karena akibat semakin mahalnya pembuatan busa sintetis, sehingga dicari alternatif pengganti busa. Selain itu produk olahan sabut kelapa juga digunakan untuk bahan geoteks, pada lapangan golf, media tanaman, produk pot bunga, dan lain-lain. Serabut kelapa atau serat dari buah kelapa merupakan serat yang unik, karena satu-satunya serat komersial yang berasal dari buah dan mempunyai sifat yang unik pula, yaitu mempunyai sifat mulur yang menakjubkan dan tahan terhadap mikroba, sehingga merupakan material yang berguna untuk berbagai kegiatan maritim. Selain itu bahan ini cocok untuk atap, *hardboard*, bahan penahan panas, dan sebagainya (Bhat). Menurut Eddy dan Shinagawa (1982) kandungan kimia dalam sabut kelapa adalah sebagai berikut.

Tabel 2.15 Kandungan kimia sabut kelapa

Jenis Analisis	Serat	Debu
Abu	4,49	5,62
Si O ₂	0,74	0,57
Sari	6,62	6,7
Lignin	37,8	43,04
C & B selulosa	49,62	
Alfaselulosa	33,74	
Pentosan	15,63	11,51
Kelarutan Air panas	12,51	22,16
Kelarutan air dingin	10,29	17,22
Kelarutan Na OH 1%	34,78	45,57

Sumber : Eddy dan Shinagawa, 1982

Lignin adalah suatu polimer kompleks dengan berat molekul tinggi (terdiri dari satuan fenil propana) dimana sifat senyawa ini sangat stabil dan sulit untuk dipisahkan. Lignin bersama hemiselulosa membentuk lem alami yang menjadi perekat yang membuat kokoh sifat mekanik kayu. Jumlah lignin yang terdapat dalam tumbuhan yang berbeda sangat bervariasi. Lignin terdapat dalam lamela tengah dan dinding sel yang berfungsi sebagai perekat antar serat (Wardrop, 1971).

2.4.3. Sekam Padi

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi *kariopsis* yang terdiri dari dua belahan yang disebut *lemma* dan *palea* yang saling bertautan. Pada proses penggilingan beras sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar. Sekam memiliki kerapatan jenis (*bulk density*) 125 kg/m³, dengan nilai kalori 3.300 kkal/ kg sekam. Proses penggilingan gabah akan menghasilkan 16-28% sekam (Nugraha dan Setiawati, 2006). Ditinjau data komposisi kimiawi, sekam mengandung beberapa unsur kimia penting seperti dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.16 Komposisi kimia sekam padi

Komponen	Kandungan (%)
Menurut Suharno	

Kadar air	9,02
Protein kasar	3,03
Lemak	1,18
Serat kasar	35,68
Abu	17,71
Karbohidrat kasar	33,17
Menurut DTC-IPB	
Karbon (zat arang)	1,33
Hidrogen	1,54
Oksigen	33,64
Silika (SiO ₂)	16,98

Sumber: Nugraha dan Setiawati, 2006

Dengan komposisi kandungan kimia seperti tersebut pada tabel di atas, sekam dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan di antaranya: (a) sebagai bahan baku pada industri kimia, terutama kandungan zat kimia furfural yang dapat digunakan sebagai bahan baku dalam berbagai industri kimia, (b) sebagai bahan baku pada industri bahan bangunan, terutama kandungan silika (SiO₂) yang dapat digunakan untuk campuran pada pembuatan semen *portland*, bahan isolasi, *hush-board* dan campuran pada industri bata merah, (c) sebagai sumber energi panas pada berbagai keperluan manusia, kadar selulosa yang cukup tinggi dapat memberikan pembakaran yang merata dan stabil (Nugraha dan Setiawati, 2006). Komponen utama sekam ialah selulosa, hemiselulosa dan lignin. Masalah yang sering dihadapinya untuk menjadi pengisi yang baik ialah penyerapannya terhadap kelembapan. Tabel 2.16 menunjukkan kandungan kimia yang terdapat dalam sekam (Lauricio, 1987) dan tabel 2.17 menunjukkan analisis sampel sekam padi dalam % (Grist, 1975).

Tabel 2.17 Kandungan kimia sekam padi

Kandungan	% berdasarkan berat
Protein mentah	1,5 – 7,0
Gentian mentah	31,5 – 50,0
Nitrogen	24,5 – 38,8
Selulosa	16,0 – 22,0
Lignin	20,0 – 27,5
Pentosan	31,5 – 50,0
Lemak mentah	0,05 – 3,0
Abu	15,0 – 30,0

Sumber: Lauricio, 1987

Tabel 2.18 Analisis sampel sekam padi dalam %

Komposisi	%
Silika (SiO ₂)	94.50

Kalsium oksida (CaO)	0.25
Magnesium oksida (MgO)	0.23
Sodium oksida (Na ₂ O)	0.78
Kalium oksida (K ₂ O)	1.10
Ferrik oksida (Fe ₂ O ₃)	sedikit
P ₂ O ₅	0.53
Aluminium dan Manganes Oksida	sedikit

Sumber: Grist, 1975

Disebabkan oleh ciri kasar (*abrasive*), nilai nutrisi yang lemah, dan kandungan abu yang tinggi, hanya sedikit kulit sekam padi yang boleh dilupuskan bagi aplikasi yang bernilai rendah seperti “*chicken litter*”, “*juice pressing aid*” dan “*animal roughage*”. Sekam padi yang selebihnya akan dimusnahkan dan biasanya dibakar secara terbuka di kawasan lapang. Pembakaran tersebut banyak dilakukan tetapi sekiranya tidak dilakukan dengan betul, ia akan memberikan masalah pencemaran yang kritis (Houston, 1972).

2.4.4. Perekat Lem Kanji (*cassava starch*)

Perekat adalah suatu substansi yang dapat mengikat bahan bersama melalui permukaannya. Bahan yang diikat dinamakan substrat atau *adherent*. Bahan perekat yang lebih tua (kolagen, tepung, dekstrin, kasein, karet, resin plastik dan lain-lain), diambil dari bahan alami. Banyak perekat organik dan modifikasinya masih digunakan secara luas sampai saat ini. Berbagai macam perekat sintesis (misal PVC) merekat dengan cara evaporasi (www.duraposita.com).

Adhesive atau lem atau juga sering disebut perekat merupakan suatu bahan yang digunakan untuk menyatukan dua benda yang sejenis, maupun yang tidak sejenis bersama dengan aksi permukaan, sehingga kedua benda tersebut bisa bertahan terhadap aksi pemisahan (Dika, 2009). Perekat juga mempunyai kemampuan untuk mengurangi kemampuan kertas menghisap bahan-bahan cair dan bahan kanji untuk meningkatkan kekuatan kertas (www.lapis.or.id).

Lem kanji berasal dari tepung pati kanji. Tepung ini mudah diperoleh dan memiliki harga yang tidak terlalu mahal. Cara untuk membuat lem kanji ini adalah dengan mencampur tepung pati kanji dengan air menggunakan perbandingan air: tepung kira-kira sebesar 1:5. Kemudian campuran tersebut dimasak dan diaduk

terus sampai merata sehingga menjadi lem yang ditandai dengan berubahnya warna campuran menjadi bening (Widjaja, 2005).

Kanji yang sudah dijadikan lem akan berubah dalam bentuk gel. Gel adalah koloid yang setengah kaku (antara padat dan cair). Penggunaan kanji sendiri mempunyai beberapa karakteristik yang baik antara lain; viskositas rekat tinggi, kejernihan tinggi dan stabilitas pembekuan tinggi (Kristanto, 2007)

Widjaja (2005) dalam penelitiannya tentang perencanaan dan pembuatan mesin untuk bahan bakar briket dari serbuk gergaji kayu membuat lem kanji dengan cara memasak campuran pati kanji yang telah dicampur dengan air dengan perbandingan antara massa kanji : massa air sebesar 1:5. Setelah dicampurkan, kemudian dimasak dengan api sedang hingga warna berubah menjadi bening.

2.4.5. Perekat Lem Putih

Polivinil asetat (PVAc) atau dapat disebut juga lem putih yang digunakan sebagai lem kayu dan kertas merupakan salah satu produk jenis polimer emulsi. Polimer emulsi adalah polimerisasi adisi terinisiasi radikal bebas dimana suatu monomer atau campuran monomer dipolimerisasikan di dalam air dengan perubahan surfaktan untuk membentuk suatu produk polimer emulsi yang bisa disebut lateks. Lateks didefinisikan sebagai dispersi koloidal dari partikel polimer dalam medium air. Bahan utama di dalam polimerisasi emulsi selain dari monomer dan air adalah surfaktan, inisiator, dan zat pengalih rantai (Siregar, 2004).

Produk-produk polimer emulsi ini merupakan bahan yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan dalam berbagai jenis sektor industri. Dalam industri tekstil sebagai macam emulsi digunakan dalam proses pengkanjian (*sizing*), pencapan (*printing*), dan penyempurnaan (*finishing*). Dalam industri cat tembok berbagai macam polimer emulsi digunakan sebagai pengikat dan pengental. Polimer emulsi digunakan sebagai perekat dalam industri kayu lapis dan pengerjaan *furniture* selain itu sifat khusus dari beberapa kopolimer emulsi yang lengket terhadap aksi tekanan merupakan suatu sarana bagi penggunaan material tersebut sebagai lem *striker* dan lem *celorape* yang dikenal dengan lem peka tekanan (Siregar, 2004) Polivinil asetat adalah suatu polimer karet sintesis. Polivinil asetat dibuat dari monomernya, vinil asetat (*vinyl acetate*

monomer, VAM). Senyawa ini ditemukan di Jerman oleh Dr. Flitz Klatte pada 1912.

2.5 Desain Eksperimen

Desain eksperimen merupakan langkah-langkah lengkap yang perlu diambil jauh sebelum eksperimen dilakukan agar supaya data yang semestinya diperlukan dapat diperoleh sehingga akan membawa kepada analisis objektif dan kesimpulan yang berlaku untuk persoalan yang sedang dibahas. (Sudjana, 1997).

An experiment is a test of tests in which purposeful changes are made to the input variables of a process or system so that we may observe and identify the reasons for changes that may be observed in the output response. (Montgomery, 1997).

Beberapa istilah atau pengertian yang perlu diketahui dalam desain eksperimen (Sudjana, 1997; Montgomery, 1997):

a. *Experimental unit* (unit eksperimen)

Objek eksperimen dimana nilai-nilai variabel respon diukur.

b. Variabel respon (*effect*)

Disebut juga *dependent variable* atau ukuran performansi, yaitu output yang ingin diukur dalam eksperimen.

c. Faktor

Disebut juga *independent variable* atau variabel bebas, yaitu input yang nilainya akan diubah-ubah dalam eksperimen.

d. *Level* (taraf)

Merupakan nilai-nilai atau klasifikasi-klasifikasi dari sebuah faktor. Taraf (*levels*) faktor dinyatakan dengan bilangan 1, 2, 3 dan seterusnya. Misalkan dalam sebuah penelitian terdapat faktor-faktor :

a = jenis kelamin

b = cara mengajar

Selanjutnya taraf untuk faktor a adalah 1 menyatakan laki-laki, 2 menyatakan perempuan (a_1 , a_2). Bila cara mengajar ada tiga, maka dituliskan dengan b_1 , b_2 , dan b_3 .

e. *Treatment* (perlakuan)

Sekumpulan kondisi eksperimen yang akan digunakan terhadap unit eksperimen dalam ruang lingkup desain yang dipilih. Perlakuan merupakan kombinasi level-level dari seluruh faktor yang ingin diuji dalam eksperimen.

f. Replikasi

Pengulangan eksperimen dasar yang bertujuan untuk menghasilkan taksiran yang lebih akurat terhadap efek rata-rata suatu faktor ataupun terhadap kekeliruan eksperimen.

g. Faktor Pembatas/ Blok (*Restrictions*)

Sering disebut juga sebagai variabel kontrol (dalam Statistik Multivariat) yaitu faktor-faktor yang mungkin ikut mempengaruhi variabel respon tetapi tidak ingin diuji pengaruhnya oleh eksperimenter karena tidak termasuk ke dalam tujuan studi.

h. Randomisasi

Yaitu cara mengacak unit-unit eksperimen untuk dialokasikan pada eksperimen. Metode randomisasi yang dipakai dan cara mengkombinasikan level-level dari faktor yang berbeda menentukan jenis desain eksperimen yang akan terbentuk.

i. Kekeliruan eksperimen

Merupakan kegagalan daripada dua unit eksperimen identik yang dikenai perlakuan untuk memberi hasil yang sama.

Langkah-langkah dalam setiap proyek eksperimen secara garis besar terdiri atas tiga tahapan, yaitu *planning phase*, *design phase* dan *analysis phase*. (Hicks, 1993).

1. *Planning Phase*

Tahapan dalam *planning phase* adalah :

- a. Membuat *problem statement* sejelas-jelasnya.
- b. Menentukan variabel bebas (*dependent variables*), yaitu efek yang ingin diukur, sering disebut sebagai kriteria atau ukuran performansi.
- c. Menentukan *independent variables*.
- d. Menentukan level-level yang akan diuji, tentukan sifatnya, yaitu :
 - Kualitatif atau kuantitatif
 - *Fixed* atau random

- e. Tentukan cara bagaimana level-level dari beberapa faktor akan dikombinasikan (khusus untuk eksperimen dua faktor atau lebih).

2. *Design Phase*

Tahapan dalam *design phase* adalah :

- a. Menentukan jumlah observasi yang diambil.
- b. Menentukan urutan eksperimen (urutan pengambilan data).
- c. Menentukan metode randomisasi.
- d. Menentukan model matematik yang menjelaskan variabel respon.
- e. Menentukan hipotesis yang akan diuji.

3. *Analysis Phase*

Tahapan dalam *analysis phase* adalah :

- a. Pengumpulan dan pemrosesan data.
- b. Menghitung nilai statistik-statistik uji yang dipakai.
- c. Menginterpretasikan hasil eksperimen.

2.5.1 Faktorial Eksperimen

Eksperimen faktorial digunakan bilamana jumlah faktor yang akan diuji lebih dari satu. Eksperimen faktorial adalah eksperimen dimana semua (hampir semua) taraf (*levels*) sebuah faktor tertentu dikombinasikan dengan semua (hampir semua) taraf (*levels*) faktor lainnya yang terdapat dalam eksperimen. (Sudjana, 1997).

Di dalam eksperimen faktorial, bisa terjadi hasilnya dipengaruhi oleh lebih dari satu faktor, atau dikatakan terjadi interaksi antar faktor. Secara umum interaksi didefinisikan sebagai 'perubahan dalam sebuah faktor mengakibatkan perubahan nilai respon, yang berbeda pada tiap taraf untuk faktor lainnya, maka antara kedua faktor itu terdapat interaksi' (Sudjana, 1997).

2.5.2 Pengujian Asumsi-Asumsi ANOVA

Apabila menggunakan analisis variansi sebagai alat analisis data eksperimen, maka seharusnya sebelum data diolah, terlebih dahulu dilakukan uji asumsi ANOVA untuk menguji apakah asumsi-asumsi ANOVA telah terpenuhi

atau belum. Uji yang dilakukan dapat berupa uji homogenitas variansi, dan independensi, terhadap data hasil eksperimen. (Sudjana, 1997).

1. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan terhadap keseluruhan data hasil observasi, dengan tujuan untuk mengetahui apakah data hasil observasi tersebut berdistribusi secara normal atau tidak. Untuk memeriksa apakah populasi berdistribusi normal atau tidak, dapat ditempuh uji normalitas dengan menggunakan metode *lilliefors* (*kolmogorov-smirnov* yang dimodifikasi), atau dengan *normal probability -plot*. (Sudjana, 1997).

Pemilihan uji *lilliefors* sebagai alat uji normalitas didasarkan oleh :

- a. Uji *lilliefors* adalah uji *kolmogorov-smirnov* yang telah dimodifikasi dan secara khusus berguna untuk melakukan uji normalitas bilamana *mean* dan variansi tidak diketahui, tetapi merupakan estimasi dari data (sampel). Uji *kolmogorov-smirnov* masih bersifat umum karena berguna untuk membandingkan fungsi distribusi kumulatif data observasi dari sebuah variabel dengan sebuah distribusi teoritis, yang mungkin bersifat normal, seragam, *poisson*, atau *exponential*.
- b. Uji *lilliefors* sangat tepat digunakan untuk data kontinu, jumlahnya kurang dari 50 data, dan data tidak disusun dalam bentuk interval (bentuk frekuensi). Apabila data tidak bersifat seperti di atas maka uji yang tepat untuk digunakan adalah khi-kuadrat. (Miller, 1991).
- c. Uji *lilliefors* terdapat di *software* SPSS yang akan membantu mempermudah proses pengujian data sekaligus bisa mengecek hasil perhitungan secara manual.

2. Uji homogenitas

Uji homogenitas bertujuan menguji apakah variansi *error* dari tiap level atau perlakuan bernilai sama. Uji homogenitas dilakukan secara berpasangan antara variabel respon dengan masing-masing faktor. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa variansi nilai *dependent variable* tidak terkonsentrasi/terkumpul pada level tertentu dari *independent variable*. Alat uji yang sering dipakai adalah uji *bartlett*. Namun uji *bartlett* dapat dilakukan setelah uji normalitas terlampaui. Untuk menghindari adanya kesulitan dalam urutan

proses pengolahan, maka alat uji yang dipilih adalah uji *levене test*. Uji *levене* dilakukan dengan menggunakan analisis ragam terhadap selisih absolut dari setiap nilai pengamatan dalam sampel dengan rata-rata sampel yang bersangkutan. (Sudjana, 1997)

3. Uji Independensi

Salah satu upaya mencapai sifat independen adalah dengan melakukan pengacakan terhadap observasi. Namun demikian, jika masalah acak ini diragukan maka dapat dilakukan pengujian dengan cara memplot residual *versus* urutan pengambilan observasinya. Hasil plot tersebut akan memperlihatkan ada tidaknya pola tertentu. Jika ada pola tertentu, berarti ada korelasi antar residual atau *error* tidak independen. Apabila hal tersebut terjadi, berarti pengacakan urutan eksperimen tidak benar (eksperimen tidak terurut secara acak) (Sudjana, 1997).

2.5.3 Analysis of Variance (ANOVA)

Analysis of Variance (ANOVA) merupakan metode untuk menguji hubungan antara satu variabel dependen dengan satu atau lebih variabel independen. Misalkan kita ingin mengetahui apakah pengalaman kerja sebelumnya (variabel dependen) dipengaruhi oleh jabatan atau *job category* (variabel independen). Hubungan antara satu variabel dependen dengan satu variabel independen disebut *One Way ANOVA*. Pada kasus satu variabel dependen dan dua atau tiga variabel independen sering disebut *Two Ways ANOVA* dan *Three Ways ANOVA*.

ANOVA digunakan untuk mengetahui pengaruh utama (*main effect*) dan pengaruh imteraksi (*interaction effect*) dari variabel independen (sering disebut faktor) terhadap variabel dependen. Pengaruh utama atau *main effect* adalah pengaruh langsung variabel independen terhadap variabel dependen. Sedangkan pengaruh interaksi adalah pengaruh bersama atau *joint effect* dua atau lebih variabel independen terhadap variabel dependen.

Skema umum data sampel untuk desain eksperimen dapat dilihat pada tabel 2.18 di bawah ini.

Tabel 2.19 Skema umum data sampel eksperimen faktorial

Faktor <i>C</i>	Faktor A						Jumla h	Rata- rata
	1		2		3			
	Faktor B							
	1	2	1	2	1	2		
1	Y ₁₁₁₁	Y ₁₂₁₁	Y ₂₁₁₁	Y ₂₂₁₁	Y ₃₁₁₁	Y ₃₂₁₁		
	Y ₁₁₁₂	Y ₁₂₁₂	Y ₂₁₁₂	Y ₂₂₁₂	Y ₃₁₁₂	Y ₃₂₁₂		
	Y ₁₁₁₃	Y ₁₂₁₃	Y ₂₁₁₃	Y ₂₂₁₃	Y ₃₁₁₃	Y ₃₂₁₃		
Jumla h	J ₁₁₁₀	J ₁₂₁₀	J ₂₁₁₀	J ₂₂₁₀	J ₃₁₁₀	J ₃₂₁₀	J ₁₀₀₀	
Rata- rata	\bar{Y}_{1110}	\bar{Y}_{1210}	\bar{Y}_{2110}	\bar{Y}_{2210}	\bar{Y}_{3110}	\bar{Y}_{3210}		\bar{Y}_{1000}
2	Y ₁₁₂₁	Y ₁₂₂₁	Y ₂₁₂₁	Y ₂₂₂₁	Y ₃₁₂₁	Y ₃₂₂₁		
	Y ₁₁₂₂	Y ₁₂₂₂	Y ₂₁₂₂	Y ₂₂₂₂	Y ₃₁₂₂	Y ₃₂₂₂		
	Y ₁₁₂₃	Y ₁₂₂₃	Y ₂₁₂₃	Y ₂₂₂₃	Y ₃₁₂₃	Y ₃₂₂₃		
Jumla h	J ₁₁₂₀	J ₁₂₂₀	J ₂₁₂₀	J ₂₂₂₀	J ₃₁₂₀	J ₃₂₂₀	J ₂₀₀₀	
Rata- rata	\bar{Y}_{1120}	\bar{Y}_{1220}	\bar{Y}_{2120}	\bar{Y}_{2220}	\bar{Y}_{3120}	\bar{Y}_{3220}		\bar{Y}_{2000}
3	Y ₁₁₃₁	Y ₁₂₃₁	Y ₂₁₃₁	Y ₂₂₃₁	Y ₃₁₃₁	Y ₃₂₃₁		
	Y ₁₁₃₂	Y ₁₂₃₂	Y ₂₁₃₂	Y ₂₂₃₂	Y ₃₁₃₂	Y ₃₂₃₂		
	Y ₁₁₃₃	Y ₁₂₃₃	Y ₂₁₃₃	Y ₂₂₃₃	Y ₃₁₃₃	Y ₃₂₃₃		
Jumla h	J ₁₁₃₀	J ₁₂₃₀	J ₂₁₃₀	J ₂₂₃₀	J ₃₁₃₀	J ₃₂₃₀	J ₃₀₀₀	
Rata- rata	\bar{Y}_{1130}	\bar{Y}_{1230}	\bar{Y}_{2130}	\bar{Y}_{2230}	\bar{Y}_{3130}	\bar{Y}_{3230}		\bar{Y}_{3000}
Jumla h Total	J ₁₁₀₀	J ₁₂₀₀	J ₂₁₀₀	J ₂₂₀₀	J ₃₁₀₀	J ₃₂₀₀	J ₀₀₀₀	
Rata- rata Total	\bar{Y}_{1100}	\bar{Y}_{1200}	\bar{Y}_{2100}	\bar{Y}_{2200}	\bar{Y}_{3100}	\bar{Y}_{3200}		\bar{Y}_{0000}

Sumber : Sudjana, 1997

2.5.4 Uji Pembandingan Ganda

Uji pembandingan ganda dilakukan apabila ada hipotesis nol (H_0) yang ditolak atau terdapat perbedaan yang signifikan antar level faktor, blok, atau interaksi faktor-faktor. Uji pembandingan ganda bertujuan untuk menjawab manakah dari rata-rata taraf perlakuan yang berbeda (Sudjana, 1997).

Alat uji yang biasa digunakan adalah *contras orthogonal*, uji rentang *Student Newman-Keuls*, uji *Dunnett* dan uji *Scheffe*. Apabila ingin menggunakan uji *contras orthogonal*, maka pemakaian alat uji ini sudah harus ditentukan sejak awal (sebelum eksperimen dilakukan), termasuk model perbandingan rata-rata perlakuan. Adapun tiga alat uji lainnya dapat digunakan apabila perlu setelah hasil pengolahan data menunjukkan adanya perbedaan yang berarti antar perlakuan (Sudjana, 1997).

Uji *Student Newman-Keuls* (SNK) lebih tepat digunakan dibandingkan uji *dunnett* ataupun *scheffe*, untuk melihat pada level mana terdapat perbedaan dari suatu faktor yang dinyatakan berpengaruh signifikan oleh uji ANOVA. Pemilihan uji *dunnett* atau *scheffe* tidak tepat untuk melihat pada level mana terdapat perbedaan terhadap suatu faktor, karena uji *dunnett* hanya digunakan untuk membandingkan suatu kontrol dengan perlakuan lainnya, sedangkan uji *scheffe* lebih ditujukan untuk membandingkan antara dua kelompok perlakuan (bukan level tunggal) (Sudjana, 1997).

2.6 Studi Pustaka

Stark and Rowlands (2002) mengungkapkan bahwa komposit yang diperkuat serat tanaman, sifat-sifat mekanisnya akan meningkat secara linier seiring dengan pertambahan persen berat serat. Karakteristik mekanik yang meningkat adalah kekuatan tarik, kekuatan *bending*, serta kekuatan impak. Dalam penelitiannya, Stark and Rowlands menggunakan komposit serat kayu-*polypropylene* dengan fraksi berat 20% dan 40%.

Krzysik, dkk. (1997) meneliti tentang panel papan serat berdensitas sedang yang terbuat dari 70% serat kayu dan 30% limbah serat kertas dengan 10% resin *phenolic* dan 1,5% *wax* (lilin). Ketebalan yang diteliti yaitu 6 mm, 13 mm dan 19 mm. Nilai kekuatan *bending* terbesar berada pada ketebalan 6 mm yaitu sebesar 37,7 MPa dan telah memenuhi standar ANSI A208.2-1994 *Exterior MDF* yaitu sebesar 34,5 MPa.

Eires and Jalali (2005) meneliti material yang terbuat dari kombinasi komposisi selulosa rami dan bubur limbah kertas dari limbah kertas, dengan bahan pengikat metakaolin dan *lime* tanpa tambahan semen. Hasilnya

mengindikasikan bahwa penggunaan komposisi limbah kertas yang lebih besar akan meningkatkan kekuatan.

Oladele, dkk. (2009) meneliti komposit serat berpenguat semen untuk aplikasi plafon. Serat *Acanthus montanus* dipotong 35-40 mm, kemudian dicampur dengan limbah kertas, semen, dan air. Fraksi massa serat sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%, sedangkan perbandingan semen dan limbah kertas sebesar 70:30. Kekuatan *bending* terbesar pada massa serat 2% yaitu 1,352 MPa.

Yang, dkk. (2002) mencoba pembuatan komposit dari daur ulang limbah kertas sebagai bahan *finishing* interior atau papan isolasi penyekat dengan menggunakan bahan kimia anorganik ketahanan api FR-7 yang mempunyai fraksi berat 10%, 15%, dan 20%. Kekuatan *bending* menurun seiring dengan kenaikan FR-7.

Kim, dkk. (2009) meneliti tentang penggunaan jerami, sekam padi, dan bubur kertas sebagai sampah industri yang digunakan untuk menambah nilai manufaktur produk komposit. Penelitian ini menyelidiki efek sifat-sifat mekanik dari penambahan jerami, sekam padi, dan bubur kertas untuk menggantikan partikel kayu pada komposit dalam aplikasi manufaktur *green pallet*. Variasi fraksi berat yang dilakukan adalah jerami 5 cm 0%, 5%, 10%, 20%, 25%, dan 30%; jerami 2 cm 0%, 5%, 10%, dan 20%; sekam padi 0%, 10%, dan 20%; serta bubur kertas 10%, 15%, dan 20% yang dicampur dengan 65% resin UF sebagai pengikat dan ditambahkan 10% NH_4Cl sebagai pengeras. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan jumlah jerami dan sekam padi menurunkan kekuatan mekanik komposit. Ketika partikel kayu digantikan dengan 10% bubur kertas, komposit kayu-bubur kertas menunjukkan sifat-sifat mekanik yang mirip dengan partikel kayu.

Wahyono (2005) melakukan penelitian mengenai komposit serabut kelapa dan diperoleh bahwa nilai kekuatan *bending* rata-rata komposit serat sabut kelapa ($v_1 = 40\%$) dengan matrik epoxy adalah 38,825 MPa dan modulus elastisitas rata-rata adalah 2161,672 MPa. Nilai kekuatan *bending* rata-rata komposit serat sabut kelapa ($v_1 = 60\%$) dengan matrik epoxy adalah 33,338 MPa dan modulus elastisitas rata-rata adalah 1301,474 MPa. Nilai kekuatan *bending* rata-rata komposit serat sabut kelapa ($v_1 = 40\%$) dengan matrik epoxy dan abu sekam padi

adalah 33,668 MPa dan modulus elastisitas rata-rata adalah 3014,699 MPa. Sedangkan nilai kekuatan *bending* rata-rata komposit serat sabut kelapa ($v_1 = 60\%$) dengan matrik epoxy dan abu sekam padi adalah 32,528 MPa dan modulus elastisitas rata-rata adalah 3732,532 MPa.

Wibowo (2005) melakukan penelitian tentang komposit serat *polypropilene*, serat sekam padi, campuran keduanya dengan matrik epoxy dan fraksi berat sama dan didapat bahwa rata-rata kekuatan *bending* serat sekam padi dengan fraksi berat (w_f) = 11,11% adalah sebesar 83,540 N/mm².

Hakim (2009) meneliti tentang sifat mekanik dan fisik komposit tepung kanji-kulit kacang tanah. Hasilnya adalah nilai kekuatan *bending* tertinggi komposit pada tekanan 88 kg/cm² sebesar 15,975 MPa sehingga lebih besar dari kekuatan *bending* standar untuk *hardboard* (*Basic hardboard*, ANSI/AHA A135.4-1995) yaitu 13,8 MPa.

Haryadi (2005) meneliti kekuatan *bending* dan tarik komposit berpenguat serbuk tempurung kelapa dan abu sekam padi yang dikombinasikan dengan epoxy menghasilkan data sebagai berikut, untuk komposit serbuk tempurung kelapa mempunyai kekuatan *bending* rata-rata 31,716 MPa dan modulus elastisitas rata-rata 1807,399 MPa. Sedangkan komposit serbuk abu sekam padi mempunyai kekuatan *bending* 32,713 MPa dan modulus elastisitas rata-rata 2952,965 MPa.

Arif (2007) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa salah satu serat alam yang memiliki prospek yang cukup baik adalah serat kelapa (*cocofiber*), dimana pengolahan dari serat kelapa masih belum banyak dilakukan atau ditangani dengan baik, sehingga hanya menjadi limbah yang tidak bermanfaat. Dalam penelitian ini yang pertama kali dilakukan adalah pemotongan serat kelapa sepanjang 1 cm, kemudian dilakukan pencampuran polyester dan serat kelapa dengan variasi fraksi volume serat kelapa 5%, 10%, 20% dan 30%. Dari hasil pengujian didapatkan kekuatan mekanik terbaik modulus elastisitas 40,33 kg/mm² pada fraksi volume 30%, *elongation* 0,19 pada fraksi volume 5%, *flexural strength* 3,18 kg/mm² pada fraksi volume 30%, *flexural modulus* 118,18 kh/mm².

Riyadie (2009) meneliti komposit untuk mengetahui pengaruh fraksi berat serat kelapa terhadap kekuatan ketangguhan *impact* komposit serat serabut kelapa dengan matriks *unsaturated polyester* resin. Serat kelapa dijadikan sebagai

penguat pada komposit dengan matriks polyester, dengan variasi fraksi berat serat 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%.

Hartomo (2009) meneliti mengenai pengaruh fraksi volume *core* pada komposit *sándwich* terhadap harga kekuatan *bending* dan dampak dari komposit *sándwich* dengan skin dari kasa aluminium bermatrik epoxy, *core* dari serbuk arang tempurung kelapa dengan fraksi volume serbuk adalah 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Dari pengujian yang dilakukan kekuatan *bending* tertinggi pada *core* dengan fraksi volume 10% sebesar 96,230 MPa dan terendah pada *core* dengan fraksi volume 40% sebesar 33,147 MPa.

Lee, dkk. (2003) meneliti tentang kemungkinan sekam padi sebagai pengganti partikel kayu pada manufaktur papan partikel. Penelitian ini menggunakan tepung sekam padi dengan fraksi berat 0%, 5%, 10%, dan 15% serta resin urea formaldehid sebagai pengikat komposit dan mengkombinasikan dengan fraksi berat 10% NH_4Cl sebagai *hardener*. Nilai *Modulus of Rupture* (MOR) semakin meningkat seiring dengan menurunnya kandungan tepung sekam padi.

Roqib (2009) meneliti sifat *bending* komposit dan filter arang sekam padi dengan arang serbuk gergaji serta matrik lem fox. Pada pengujian *bending* hasil tertinggi didapat dari komposit arang sekam padi dan serbuk gergaji dengan fraksi volume 10% yaitu sebesar 178,438 N.

Yang, dkk. (2004) meneliti kemungkinan penggunaan material lignosellulosa sebagai *filler* penguat pada komposit polimer. Penelitian ini menggunakan *polypropylene* sebagai matrik dan tepung sekam padi dengan fraksi berat 10%, 20%, 30%, 40% sebagai *filler* penguat yang disiapkan sebagai partikel penguat pada komposit. Penelitian ini ingin mengetahui data sifat-sifat fisik, mekanik, dan morfologis dari komposit menurut seberapa besar tepung sekam padi pada polimer termoplastik. Kekuatan komposit menurun seiring dengan meningkatnya jumlah tepung sekam padi.

Rancasa (2003), melakukan penelitian dengan sampel berbahan dasar sabut kelapa dan didapatkan harga koefisien serapan maksimum mencapai 0,876. Dalam penelitiannya dinyatakan bahwa benda uji dengan massa dan ketebalan yang lebih besar mempunyai koefisien serapan bising maksimum yang lebih besar

dibandingkan dengan benda uji yang mempunyai massa dan ketebalan yang lebih kecil.

Khuriati, dkk. (2006) melakukan penelitian mengenai penyerapan gelombang bunyi oleh peredam suara berbahan dasar material penyusun sabut kelapa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sabut kelapa memenuhi persyaratan untuk peredam suara sesuai ISO 11654, yaitu dengan α_w di atas 0,15. Pada penelitian ini serat sabut kelapa dipotong $\pm 0,5$ cm dan ± 1 cm.

Himawanto (2007) meneliti tentang karakteristik panel akustik sampah kota dengan variasi kadar bahan anorganik. Sampah kota dari jenis organik (kertas dan dedaunan) dan dari jenis anorganik (plastik dan kaca/botol) serta perekat alami yang terbuat dari pati kanji. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada frekuensi rendah semakin besar kandungan material anorganik, maka semakin besar pula koefisien absorpsinya. Pada frekuensi tinggi, material 100% organik mempunyai koefisien absorpsi bunyi yang tertinggi, dimana semakin besar frekuensinya koefisien absorpsinya juga semakin naik.

Setyawan dan Baheramsyah (2009) meneliti bahan dari percampuran jerami dan sabut kelapa sebagai sebagai bahan dasar sekat absorpsi bunyi antar ruangan di kapal. Bahan absorpsi ini diuji koefisien serap bunyi (absorpsi) pada frekuensi 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz dan 2000 Hz. Nilai koefisien absorpsi yang paling tinggi pada 125 Hz adalah pencampuran jerami dan sabut kelapa 1:2 dengan nilai koefisien absorpsi 0,36, untuk frekuensi 250 adalah pencampuran jerami dan sabut kelapa 1:1 dengan nilai koefisien absorpsi 0,53 dan frekuensi 500 Hz adalah pencampuran jerami dan sabut kelapa 1:2 dengan nilai koefisien absorpsi 0,47.

Montagne, dkk. (2005) meneliti tentang campuran PVAc dan *Polyester Unsaturated* (UPE). Pada penelitian ini dikaji efek dari jenis zat aditif, konsentrasi dan suhu serta pengaruh variasi berat PVAc. Pengujian dilakukan dengan konsentrasi PVAc dengan fraksi berat 5%, 8%, 11%, dan 14%. Dengan konsentrasi yang lebih tinggi PVAc sistem kurang stabil dan akan cenderung lebih awal mengalami *de-mixing*. Jumlah yang lebih besar dari PVAc menyebabkan kenaikan viskositas dan dapat menstabilkan struktur yang lebih halus. Konsentrasi resin bisa menghasilkan lebih rendah yang dalam struktur yang lebih baik.

Tucker, dkk. (2005) melakukan penelitian mengenai sistem komposit dengan pencampuran pelarut serat alam berpenguat polimer. Penelitian ini membahas metode mengeksplorasi sifat larut polimer *biodegradable* tertentu untuk menghasilkan suntikan yang dapat dicetak dengan serat pendek diperkuat bahan tanpa langkah pencampuran mekanik. Miskantus sebagai pengisi, PVA, dan PVAc yang larut dalam air untuk campuran serat. Kadar PVAc yang digunakan sebesar 5% dan 10%. Kenaikan kadar PVAc pada komposit mengakibatkan penurunan kekuatan tarik.

Tabel 2.20 Variabel perbandingan penelitian sebelumnya

No	Peneliti	Variabel Penelitian	Hasil
1	Krzysik, dkk. (1997)	<ul style="list-style-type: none"> - Ketebalan yang diteliti yaitu 6 mm, 13 mm dan 19 mm. - Limbah yang digunakan serat kayu dan limbah kertas (kombinasi limbah kantor dan limbah komersil) 	Nilai kekuatan <i>bending</i> terbesar berada pada ketebalan 6 mm dengan 70% serat kayu dan 30% limbah kantor yaitu sebesar 37,7 MPa
2.	Eires and Jalali (2005)	<ul style="list-style-type: none"> - komposisi lime- metakaolin - komposisi limbah bubuk kertas - rami 	Penggunaan lime dengan persentase yang lebih kecil memberikan kekuatan yang lebih baik dan penggunaan komposisi limbah kertas yang lebih besar akan meningkatkan kekuatan.
3	Oladele, dkk. (2009)	Fraksi massa serat sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%	Kekuatan <i>bending</i> terbesar pada massa serat 2% yaitu 1,352 MPa.
4	Yang, dkk. (2002)	Persentase bahan kimia anorganik ketahanan api FR-7 10%, 15%, dan 20% dengan	Kekuatan <i>bending</i> menurun seiring dengan kenaikan FR-7.

		limbah kertas.	
5.	Kim, dkk. (2009)	Variasi fraksi berat yang dilakukan adalah jerami 5 cm 0%, 5%, 10%, 20%, 25%, dan 30%; jerami 2 cm 0%, 5%, 10%, dan 20%; sekam padi 0%, 10%, dan 20%; serta bubur kertas 10%, 15%, dan 20% yang dicampur dengan 65% resin UF sebagai pengikat dan ditambahkan 10% NH_4Cl sebagai pengeras.	Kenaikan jumlah jerami dan sekam padi menurunkan kekuatan mekanik komposit.
6.	Wahyono (2005)	<ul style="list-style-type: none"> - Fraksi volume serat serabut kelapa 40% dan 60% - Matrik epoxy dan abu sekam 	Nilai kekuatan bending rata-rata komposit terbesar pada fraksi volume serabut kelapa 40% dengan matrik epoxy.
7.	Wibowo (2005)	Jenis komposit serat karung plastik, serat sekam padi, dan serat honikom	Rata-rata kekuatan bending serat sekam padi dengan fraksi berat (w_f) = 11,11% adalah sebesar 83,540 N/mm ²
8.	Hakim (2009)	Variasi tekanan pengepresan 35 kg/cm ² , 53 kg/cm ² , 70 kg/cm ²	Nilai kekuatan <i>bending</i> tertinggi komposit tepung kanji-kulit kacang tanah pada tekanan 88 kg/cm ² sebesar 15,975 Mpa.
9.	Haryadi (2005)	Komposit berpenguat serbuk tempurung kelapa dan abu sekam padi	Kekuatan <i>bending</i> rata-rata tertinggi pada serbuk abu sekam padi sebesar 32,713 Mpa.
10.	Arif (2007)	fraksi volume serat kelapa	Kekuatan mekanik terbaik

		5%, 10%, 20% dan 30%	modulus elastisitas 40,33 kg/mm ² pada fraksi volume 30%
11.	Riyadie (2009)	Variasi fraksi berat serat kelapa 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%.	
12.	Hartomo (2009)	Fraksi volume serbuk arang tempurung kelapa adalah 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%	Kekuatan <i>bending</i> tertinggi pada <i>core</i> dengan fraksi volume 10% sebesar 96,230 MPa dan terendah pada <i>core</i> dengan fraksi volume 40% sebesar 33,147 MPa.
13.	Lee, dkk. (2003)	Fraksi berat tepung sekam padi 0%, 5%, 10%, dan 15%	Nilai <i>Modulus of Rupture</i> (MOR) semakin meningkat seiring dengan menurunnya kandungan tepung sekam padi.
14.	Roqib (2009)	Fraksi volume filter dan komposit dengan bahan arang sekam padi dan serbuk gergaji sebagai partikelnya 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%	Nilai <i>bending</i> tertinggi dengan fraksi volume 10% yaitu sebesar 178,438 N.
15.	Yang, dkk. (2004)	Fraksi berat tepung sekam padi 10%, 20%, 30%, 40%.	Kekuatan komposit menurun seiring dengan meningkatnya jumlah tepung sekam padi.

Sedangkan hasil dari penelitian sejenis yang sedang berjalan saat ini dijelaskan pada tabel 2.21 sebagai berikut.

Tabel 2.21 Hasil penelitian sejenis yang sedang berjalan

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Faktor-faktor yang diteliti	Hasil penelitian, faktor-faktor yang berpengaruh
1	Maryani (2010)	Pengaruh faktor jenis kertas, perekat dan kerapatan terhadap kekuatan impak komposit panel serap bising berbahan dasar limbah kertas.	-Jenis kertas: HVS, koran -Perekat: tanpa, kanji, PVAc -Kerapatan: 2:1, 3:1, 4:1	Faktor jenis perekat dan kerapatan serta interaksi antar keduanya. Nilai impak terbesar: HVS+kanji+kerapatan 4:1
2.	Natalia Maharani (2010)	Pengaruh faktor jenis kertas, kerapatan, persentase perekat terhadap kekuatan <i>bending</i> komposit panel serap bunyi berbahan dasar limbah kertas dan serabut kelapa.	-jenis kertas: HVS, koran -kerapatan: 3:1, 4:1, 5:1 -perekat: 2,5%, 5%, 7,5%	Faktor jenis kertas, kerapatan, dan perekat. Nilai <i>bending</i> terbesar = HVS+kerapatan 5:1+ perekat 7,5%
3.	Bayu Erian (2010)	Pengaruh jenis kertas, komposisi sekam dan jumlah perekat terhadap kekuatan impak komposit serap bising berbahan dasar kertas-sekam.	-Jenis kertas: HVS dan koran -Komposisi sekam: 10%, 15%, 20% -Jumlah perekat PVAc: 6%, 9%, 12%	Faktor komposisi sekam dan jumlah perekat. Nilai <i>bending</i> terbesar = HVS+ perekat 12%+ sekam 10%
4.	Erika Fauziah Setiyanto	Studi serapan bising sel akustik dari bahan limbah kertas	-Jenis kertas: HVS dan koran -Jenis campuran :	Faktor jenis kertas, jenis campuran, jenis perekat, interaksi jenis

	(2010)	dengan penambahan sekam padi dan sabut kelapa untuk mewujudkan ruang kerja ergonomis.	sabut kelapa dan sekam padi -Jenis perekat: tanpa, kanji, PVAc	kertas dengan jenis campuran, interaksi jenis kertas dengan jenis perekat, dan interaksi jenis campuran dengan jenis perekat.
5.	Nur Farida Setyarini (2010)	Pengaruh panel limbah kertas bekas dan campuran dengan limbah sekam padi dan sabut kelapa terhadap parameter thermal lingkungan fisik kerja.	-Jenis kertas: HVS dan koran -Jenis campuran : sabut kelapa dan sekam padi -Jenis perekat: tanpa, kanji, PVAc	